

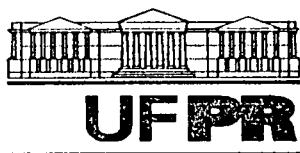
LOURIVAL MARIN MENDES

***Pinus spp.* NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS
ORIENTADAS (OSB)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de "Doutor em Ciências Florestais", Área de Concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA
2001



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER

Defesa nº 453

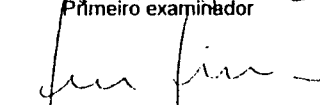
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando **LOURIVAL MARIN MENDES** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**Pinus spp. NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS (OSB)**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais*.


Dr. Setsuo Iwakiri

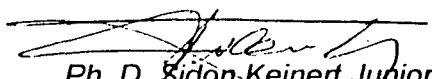
Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora


Dr. Edvã Oliveira Brito

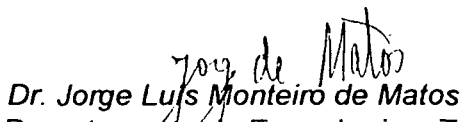
Professor e pesquisador da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Primeiro examinador


Dr. José Tarcísio Lima

Professor e pesquisador da Universidade Federal de Lavras
Segundo examinador


Ph. D. Sidon Keinert Junior


Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Terceiro examinador


Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Quarto examinador



Curitiba, 07 de dezembro de 2001.


Nivaldo Eduardo Rizzi
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Franklin Galvão
Vice-coordenador

A Deus.

Aos meus pais Antônio e Martina.

Ao meu filho Vinícius.

Ao meu irmão Luís Carlos.

Aos meus sobrinhos.

Aos meus parentes e amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela graça da vida.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela oportunidade oferecida na realização do curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Programa PICD, pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

Ao professor Setsuo Iwakiri, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao professor Sidon Keinert Jr, pela colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao professor Jorge Luís Monteiro de Matos, em especial, pela amizade, ensinamentos, orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores Graciela, Ghislaine, Ivan Tomaselli pelos ensinamentos oferecidos durante a ministração de suas disciplinas.

Aos demais professores do DETF/UFPR: Ricardo, Márcio, Dimas pelo convívio durante o curso.

Ao professor Umberto Klock pelo auxílio nas análises químicas da madeira.

À empresa PISA Florestal S.A., pela doação da madeira para geração das partículas.

À empresa ALBA QUÍMICA, pela doação da resina utilizada neste trabalho.

À empresa BERNECK, pela doação da parafina utilizada neste trabalho.

Ao Herbário da UFPR, através do Prof. Roderjan que realizou a identificação da espécie.

Aos funcionários Ademir, Ricardo, Gilnei, Vitor, Antônio e Dionéia, o reconhecimento de suas atividades e profissionalismo, que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

À biblioteca de ciências florestais e da madeira, da UFPR, na pessoa da senhora Tania de Barros Baggio, pela ajuda na normatização das referências bibliográficas.

Ao amigo e colega de curso Prof. Camargo da UFRRJ, pela amizade, companheirismo, sinceridade em todas as etapas do curso.

Ao acadêmico de Engenharia Florestal da UFPR Leopoldo K. Saldanha pela valorosa contribuição na manufatura dos painéis.

Aos acadêmicos de Engenharia Industrial Madeireira da UFPR Adilson e Ricardo pelo auxílio na manufatura dos painéis.

Aos professores da área de Tecnologia da Madeira do DCF/UFLA – Paulo Trugilho, José Tarcísio, Fábio Akira e José Reinaldo pela substituição nas atividades durante a realização deste curso.

Aos professores Osvaldo Ferreira Valente e José Gabriel de Lelles, respectivamente, orientador e conselheiro do curso de mestrado, realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), que foram sem dúvida pessoas que deram as suas valiosas contribuições para meu êxito profissional, bem como por estar, vencendo mais uma etapa importante na minha vida.

Ao amigo José Reinaldo, companheiro de mestrado, doutorado e de trabalho na UFLA. Esteja certo de que você faz parte desta alegria, de cumprir esta etapa tão almejada.

Aos meus queridos pais Antônio e Martina, minha eterna gratidão pela vida, pela educação, pelo carinho, pelo exemplo de esforço e dignidade.

Ao meu irmão Luís Carlos pelo esforço empregado na minha formação.

Ao meu filho Vinícius, pela paciência, carinho, companheirismo, amizade e dedicação.

Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

Ao amigo Clair pela alegria e bom humor no trabalho na UFLA, como também durante o tempo em que convivemos como colegas de curso.

Aos colegas de curso Alexsandro, Silvana, Martha, Alba, Guilherme, Zenóbio, Ricardo, Nilton, Nabor, João Vicente, Paixão, Carlos, Selma, Christine.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

LOURIVAL MARIN MENDES, filho de Antônio Mendes e Martina Marin Mendes, nasceu em Marinópolis, São Paulo, aos 30 dias de janeiro do ano de 1966.

Concluiu o primeiro e segundo grau na Escola Estadual de 1º e 2º Graus “Antônio Marin Cruz”, na cidade de Marinópolis, São Paulo.

Em julho de 1990, graduou-se em Engenharia Florestal pela Escola Superior de Agricultura de Lavras, hoje Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais.

Em março de 1991, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, defendendo tese em 10 de setembro de 1993.

Em janeiro de 1994 foi contratado como professor visitante pelo Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Em dezembro de 1994 ingressou no quadro definitivo de docentes da Universidade Federal de Lavras.

Em março de 1998 ingressou no curso de Doutorado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração – Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, defendendo tese em dezembro de 2001, cumprindo assim os requisitos necessários para obtenção do Título de Doutor.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DOS PAINÉIS DE MADEIRA.....	4
2.2. CONCEITO DE PAINEL OSB	5
2.3. ASPECTOS GERAIS SOBRE A PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS OSB	7
2.4. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS OSB	12
2.4.1. Fatores inerentes à Madeira	13
2.4.1.1 Espécies	13
2.4.1.2 Densidade da Madeira.....	16
2.4.1.3 pH	17
2.4.1.4 Teor de umidade.....	17
2.4.1.5 Extrativos.....	18
2.4.1.6 Local de crescimento	19
2.4.1.7 Idade cambial.....	20
2.4.1.8 Substâncias estranhas	20
2.4.1.9 Forma do tronco.....	21
2.4.2. Fatores inerentes ao processo	22
2.4.2.1 Densidade dos painéis.....	22
2.4.2.2 Razão de compactação	24
2.4.2.3 Composição dos painéis	26
2.4.2.4 Resina	27

2.4.2.5	Parafina.....	29
2.4.2.6	Dimensões das partículas	30
2.4.2.7	Orientação das partículas	32
2.4.2.8	Umidade das partículas	34
2.4.2.9	Tempo de fechamento da prensa	36
2.4.2.10	Tempo de prensagem	36
2.4.2.11	Temperatura de prensagem	37
2.4.2.12	Pressão específica	37
2.5.	PROPRIEDADES DOS PAINÉIS OSB	38
2.5.1	Módulo de elasticidade (MOE)	38
2.5.2	Módulo de ruptura (MOR).....	38
2.5.3	Compressão paralela.....	38
2.5.4	Ligação interna (LI).....	39
2.5.5	Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)	39
2.5.6	Taxa de não retorno em espessura (TNRE).....	40
2.5.7	Expansão linear.....	40
2.5.8	Emissão de formaldeído	41
2.6.	PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO INDUSTRIAL E QUALIDADE DOS PAINÉIS OSB	41
3.	MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1.	MATÉRIA PRIMA	45
3.1.1	Coleta do material	48
3.1.2	Determinação da densidade básica da madeira.....	49
3.1.3	Análises químicas da madeira.....	49
3.2.	MANUFATURA DOS PAINÉIS	50
3.2.1	Plano Experimental.....	50
3.2.1.1	Plano experimental da etapa 1	52
3.2.1.2	Plano experimental da etapa 2	53
3.2.1.3	Plano experimental da etapa 3	54
3.2.2	Obtenção das partículas	55
3.2.3	Secagem das partículas	57
3.2.4	Aplicação da resina e parafina	58
3.2.5	Orientação das partículas	60

3.2.6	Formação do colchão	60
3.2.7	Prensagem	61
3.2.8	Acondicionamento	62
3.3.	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS	63
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	64
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
4.1	POTENCIAL DENDROMÉTRICO DAS ESPÉCIES	65
4.2	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA	66
4.3	ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	68
4.4	RESULTADOS DA ETAPA 1 – CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR DE PARTÍCULAS	69
4.4.1	Densidade dos painéis.....	69
4.4.2	Módulo de elasticidade (MOE)	70
4.4.3	Módulo de ruptura (MOR)	74
4.5	RESULTADOS DA ETAPA 2 – EFEITOS DA DENSIDADE, DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS E DO TEOR DE RESINA.....	76
4.5.1	Densidade dos painéis.....	76
4.5.2	Módulo de elasticidade (MOE)	77
4.5.3	Módulo de ruptura (MOR)	80
4.5.4	Compressão paralela (CP)	84
4.5.5	Ligação interna (LI).....	86
4.5.6	Absorção de água (AA)	88
4.5.7	Inchamento em espessura (IE).....	90
4.5.8	Taxa de não retorno em espessura (TNRE).....	93
4.6	RESULTADOS DA ETAPA 3 – EFEITOS DAS ESPÉCIES E DO TEOR DE PARAFINA	96
4.6.1	Densidade dos painéis.....	96
4.6.2	Módulo de elasticidade (MOE)	97
4.6.3	Módulo de ruptura (MOR)	99
4.6.4	Compressão paralela (CP)	101
4.6.5	Ligação interna (LI).....	103
4.6.6	Absorção de água (AA)	105
4.6.7	Inchamento em espessura (IE).....	107

4.6.8 Taxa de não retorno em espessura (TNRE).....	109
4.6.9 Razão de compactação (RC)	111
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXO – ESTATÍSTICAS	125

LISTA DE FIGURAS

Página

1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DOS PRODUTOS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	6
2. ORIENTAÇÃO DAS PARTÍCULAS STRANDS NA PRODUÇÃO DE OSB	7
3. APLICAÇÃO DO OSB NA CONSTRUÇÃO CIVIL	8
4. COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO ENTRE COMPENSADO DE CONÍFERAS, WAFERBOARD E OSB.....	11
5. INTERAÇÕES DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO E AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS PARTICULADOS DE MADEIRA	12
6. PARTÍCULAS WAFER E STRAND	32
7. PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE OSB	42
8. LOCALIZAÇÃO GEÓGRÁFICA E BIOCLIMÁTICA DA FAZENDA MOQUEN	46
9. LOCALIZAÇÃO DA PISA FLORESTAL S.A.	46
10.FLUXOGRAMA GERAL DO TRABALHO DE CAMPO E LABORATÓRIO REALIZADO NESTA TESE	47
11.DESENHO ESQUEMÁTICO REPRESENTANDO O CORTE DAS TORAS	49
12.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NESTA PESQUISA	51
13.TIPO DE COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS	52
14.PROCESSO DE GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS STRAND	56
15.SECAGEM DAS PARTÍCULAS STRANDS	57
16.PROCESSO DE APLICAÇÃO DA RESINA E DA PARAFINA	59
17.MODELO DE ORIENTADOR DE PARTÍCULAS	60
18.PROJETO DO ORIENTADOR DE PARTÍCULAS E CAIXA FORMADORA UTILIZADOS NA FORMAÇÃO DO COLCHÃO	61
19.PRÉ-PRENSAGEM E PRENSAGEM À QUENTE DOS PAINÉIS OSB	62

20.ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA CORTE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES (EM MM)	64
21.VALORES MÉDIOS DE VOLUME DAS ÁRVORES SEM CASCA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	66
22.VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DA MADEIRA (DBM) PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	67
23.CERNE EVIDENCIADO NA MADEIRA DE <i>Pinus chiapensis</i>	69
24.VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) OSB POR TRATAMENTO PROPOSTO DA ETAPA 1	70
25. VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) DOS PAINÉIS OSB.....	72
26. VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) DOS PAINÉIS OSB.....	73
27. VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) DOS PAINÉIS OSB	75
28.VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) DOS PAINÉIS OSB	76
29.VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS NA ETAPA 2 DO TRABALHO	77
30.VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.....	79
31.VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.....	82
32.VARIAÇÃO DA COMPRESSÃO PARALELA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB	85
33.VARIAÇÃO DA LIGAÇÃO INTERNA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB	87

34.VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB	89
35.VARIAÇÃO DO INCHAMENTO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB	92
36.VARIAÇÃO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.....	95
37.VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS NA ETAPA 3 DO TRABALHO	97
38.VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	98
39.VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	101
40. VARIAÇÃO DA COMPRESSÃO PARALELA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	103
41.VARIAÇÃO DA LIGAÇÃO INTERNA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB	104
42.VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	106
43.VARIAÇÃO DO INCHAMENTO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	108
44.VARIAÇÃO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB	110
45.VARIAÇÃO DA RAZÃO DE COMPACTAÇÃO EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.....	112

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
1. ESPÉCIES UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB	14
2. DENSIDADES DE PAINÉIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB	22
3. COMPOSIÇÕES DOS PAINÉIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB	26
4. TEOR DE RESINA E PARAFINA UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB	28
5. EFEITO DO TEOR DE UMIDADE DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO COLCHÃO NA PRODUÇÃO DE OSB	35
6. PARÂMETROS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE OSB NA INDÚSTRIA CANADENSE	43
7. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO OSB DEFINIDO NA NORMA CSA O437.0	44
8. RELAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	45
9. ALTURA TOTAL (HT) E CAP DAS ÁRVORES COLETADAS POR ESPÉCIE ESTUDADA	48
10.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 1 DA TESE	53
11.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 2 DA TESE	54
12.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 3 DA TESE	55
13.CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DA RESINA	58
14.CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DA EMULSÃO DE PARAFINA	58
15.VALORES MÉDIOS DE CIRCUNFERÊNCIA A ALTURA DO PEITO (CAP) E ALTURA TOTAL (HT) DAS ESPÉCIES	65
16.VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA POR ESPÉCIE	67
17.RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.....	68

18.VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) POR TRATAMENTO DA ETAPA 1	70
19.EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.....	71
20.EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB	73
21.EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB	74
22.EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB	76
23.DENSIDADE MÉDIA DOS PAINÉIS (DP) PARA OS TRATAMENTOS PROPOSTOS NA ETAPA 2 DO TRABALHO	77
24.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.....	78
25.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB	82
26.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE COMPRESSÃO PARALELA DOS PAINÉIS OSB	85
27.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS OSB	87
28.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS OSB	89
29.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB	91
30.EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB	94

31.DENSIDADE ESPECÍFICA MÉDIA PARA CADA TRATAMENTO PROPOSTO NA ETAPA 3 DO TRABALHO.....	96
32.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB	98
33.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB.....	100
34.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA DOS PAINÉIS OSB	102
35.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS OSB	104
36.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS OSB.....	106
37.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB	108
38.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB	110
39.EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS OSB	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	– Absorção de água
ABIMA	– Indústria Brasileira de Madeira Aglomerada
ABIMCI	– Associação Brasileira de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	– Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	– American Society of Testing Materials
CAP	– Circunferência na altura do peito
CP	– Composição dos painéis
CSA	– Canadian Standards Association
CV	– Coeficiente de variação
DBM	– Densidade básica da madeira
DP	– Densidade dos painéis
FF	– Fenol-formaldeído
HT	– Altura total
IE	– Inchamento em espessura
LI	– ligação interna
LP	– Largura das partículas
MOE	– Módulo de elasticidade
MOR	– Módulo de ruptura
NCP	– Número de corpos de prova
NP	– Número de painéis
OSB	– Oriented Strand Board
RC	– Razão de compactação
SBA	– Structural Board Association
SP	– Espécie
TNRE	– Taxa de não retorno em espessura
TP	– Teor de parafina
TR	– Teor de resina

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar algumas variáveis de processamento na produção de painéis OSB (oriented strand board). O plano experimental foi dividido em três etapas distintas: 1) construção e avaliação do orientador de partículas; 2) estudo dos efeitos da densidade dos painéis, composição dos painéis e do teor de resina nas propriedades dos painéis; 3) estudo dos efeitos das espécies e adição de parafina nas propriedades dos painéis. Foi concluído na etapa 1 que a largura das partículas de 25, 20 e 15mm não afetam a qualidade dos painéis; as diferenças entre os painéis de camada única (homogêneos) e de três camadas (heterogêneos), bem como as diferenças de MOR e MOE entre os sentidos perpendicular e paralelo, indicaram a eficiência do orientador de partículas construído para manufatura de painéis OSB em laboratório. Na etapa 2 foi concluído que os painéis OSB apresentam melhores qualidades quando manufaturados com densidade de $0,80\text{g/cm}^3$, relação face/miolo de 1:3:1 e teor de resina de 6%. Na etapa 3 deste trabalho foi concluído que as espécies estudadas são homogêneas entre si e produzem painéis de qualidade semelhante; a adição de parafina melhora substancialmente a estabilidade dimensional dos painéis. Os painéis produzidos em todas as fases deste trabalho atenderam às especificações mínimas da norma canadense CSA 0437.0.

***Pinus spp.* IN THE PRODUCTION OF ORIENTED STRAND BOARD (OSB)**

ABSTRACT

This research had as objective to study some variables of processing on the OSB (oriented strand board) panels production. The experimental plan was divided in three distinct stages: 1) construction and evaluation of the mat forming box; 2) study of panels density effects, composition of the panels, and resin content on the panels properties; 3) study of the species effects, and addition of paraffin on the panels properties. It was concluded in the stage 1 that the width of particles of 25, 20 and 15mm does not affect the quality of the panels; the differences among panels of single layer (homogeneous) and the one of three layers (heterogeneous), was well as the differences of MOR and MOE between the perpendicular and paralel alignment to the axis, indicated the efficiency of the built forming mat box for the manufacture of OSB panels in laboratories. In the stage 2 it was concluded that the OSB panels presented better qualities when manufactured with densities of $0,80\text{g/cm}^3$, face-to-core ratio of 1:3:1, and resin content of 6%. In the stage three of this research it was concluded that the studied species are homogeoneus among them and that they produce panels of similar quality; the addition of paraffin improves substantially the panels dimencional stability. The produced panels in all the phases of this work attended to the minimum specifications of the canadian CSA 0437.0 standard.

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual do setor florestal brasileiro demonstra os reflexos da exploração predatória das florestas naturais, causadas principalmente, pela expansão da fronteira agropecuária, pelas atividades de mineração, pela produção de carvão vegetal a partir do cerrado. A falta de uma política de monitoramento da exploração via manejo sustentado, também contribuiu para agravar a situação.

O fato da madeira ser uma matéria-prima renovável e requerer um baixo consumo de energia para ser processada, representa uma vantagem comparativa em relação a outros produtos de mesma aplicação.

Dentro deste contexto econômico-ambiental, torna-se oportuno ressaltar a importância da produção e utilização de produtos de madeira reconstituída, pelas indústrias moveleiras; de construção civil e de embalagens (MENDES et al, 2000f).

O Brasil apresenta excelentes condições, à curto prazo, para a produção de painéis estruturais de madeira reconstituída, devido à experiência com os recursos silviculturais de pinus e eucalipto, atualmente implantados em larga escala. Outrossim, as condições climáticas propiciam uma curta rotação, reduzindo significativamente os custos, se comparados com os países desenvolvidos (MENDES et al., 2000d).

Os inexpressivos investimentos tecnológicos realizados recentemente nas indústrias de compensado, bem como a deficitária estrutura de produção e os elevados custos com matéria-prima (nativas da região Norte), caracterizam-se como fatores limitantes ao desenvolvimento da produção desse tipo de painel no Brasil (ABIMCI, 2000).

Em contrapartida, observa-se um grande crescimento na produção e consumo dos painéis reconstituídos no Brasil, representados pelo aglomerado, MDF e pelo OSB (início da produção em dezembro de 2001). Esta tendência mudará o perfil de consumo no Brasil (ABIPA, 2001).

O “marketing” agressivo e contínuo aperfeiçoamento de painéis tipo OSB e Waferboard que possuem especificações próprias, vem incentivando

sua aplicação, principalmente, como substituto natural das tradicionais chapas estruturais (WATAI, 1996).

Os painéis OSB são produtos utilizados para aplicações estruturais, como paredes, forros, pisos, componentes de vigas estruturais, embalagens, etc., tendo em vista suas características de resistência mecânica e boa estabilidade dimensional, competindo diretamente com o mercado de compensados. A utilização dos painéis OSB tem crescido significativamente e ocupado espaços, antes exclusivos aos compensados, em virtude de fatores como: (1) redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; (2) o OSB pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; (3) a largura dos painéis OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados; (4) A performance do OSB é atualmente reconhecida pelos grupos normativos, construtores e consumidores (IWAKIRI, 1999). Entretanto a grande vantagem na produção de OSB, em relação aos produtos concorrentes, é no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem nas fases de geração e secagem das partículas na forma de finos.

A MASISA deverá ser a primeira empresa a iniciar a produção de OSB no Brasil, utilizando o gênero *Pinus* como matéria prima, aproveitando as extensas áreas plantadas com este gênero no estado do Paraná, que é o maior produtor deste tipo de madeira no Brasil. Vale ressaltar que a madeira de *Pinus* se encontra dentro da faixa de densidade utilizada pelas indústrias Americanas e Canadenses produtoras de OSB (MENDES et al., 2000c).

Por ser um produto novo a ser produzido no Brasil, ainda não existem informações disponíveis sobre as variáveis de processamento, principalmente com relação a espécies. Dentro desta linha de raciocínio, alguns trabalhos têm chamado a atenção para este detalhe (EINSFELD et al. (1998), ALBUQUERQUE e MENDES (1999 e 2000); GOUVEIA et al. (2000), MENDES et al. (2000abe).

O início da produção de OSB no Brasil, deve sanar uma defasagem histórica do país em relação aos principais produtores de painéis de madeira no mundo. Apesar do setor florestal representar em torno de 4,5% do PIB do

país, a participação brasileira no mercado internacional ainda é quase inexpressiva, considerando a sua grande vocação para produção florestal.

1.1 OBJETIVOS

Geral: Testar a viabilidade de produção de painéis OSB, avaliando a influência de variáveis de processamento.

Específicos:

- Construir e avaliar um orientador de partículas para manufatura de painéis OSB em laboratório;
- Avaliar a eficiência do sistema de orientação das partículas;
- Avaliar a influência da largura das partículas nas propriedades dos painéis OSB;
- Avaliar a influência da composição em camadas cruzadas na produção de painéis OSB;
- Selecionar a densidade dos painéis mais adequada na produção de OSB,
- Avaliar a influência do teor de resina nas propriedades dos painéis OSB;
- Avaliar a influência da parafina nas propriedades dos painéis OSB;
- Avaliar o efeito das espécies e indicar aquelas com maior potencial na manufatura de painéis OSB.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

O primeiro painel produzido industrialmente no mundo foi um compensado, fato ocorrido no início do século XX nos Estados Unidos da América

Os painéis de partículas de madeira aglomerada, por sua vez, surgiram na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de lâminas para compensados, devido ao isolamento do país durante a 2ª Guerra Mundial.

A produção foi paralisada logo a seguir, devido a redução na disponibilidade de resina, tendo em vista a prioridade de uso de petróleo para finalidade militar. Ao fim da guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos, que culminaram no desenvolvimento de chapas estruturais tipo Waferboard e OSB em meados da década de 70.

O desenvolvimento da tecnologia de produção de compensados, chapas de fibras e de partículas passou pela cronologia a seguir (ABIMA, 1992; IWAKIRI, 1998):

- 1858 – Lyman (EUA), desenvolveu a primeira patente em chapas de fibras;
- 1866 – Fleury (EUA), desenvolveu a patente para fabricação de chapas de fibras isolantes pelo processo úmido;
- 1880 – desenvolvimento da tecnologia de produção de chapas duras/isolantes pelo processo úmido;
- 1913 - início da produção de compensado no mundo;
- 1914 – instalação da 1ª fábrica de chapas isolantes baseado na tecnologia de produção de papelão;

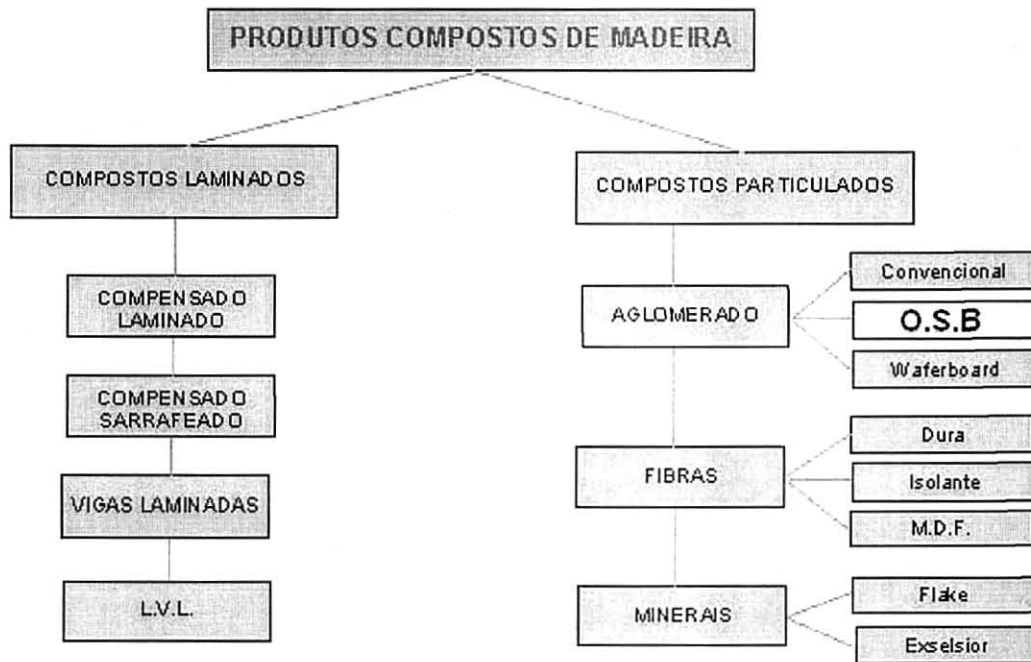
- 1930 – instalação da 1ª fábrica de chapas duras com a utilização de toretes de madeira;
- 1931 – desenvolvimento do equipamento desfibrador “Asplund” na Suécia, através do método contínuo de desfibramento a alta temperatura e pressão;
- 1932 – instalação da 1ª fábrica de chapas de fibra na Alemanha;
- 1940 – início da produção de compensado no Brasil;**
- 1943 – desenvolvimento do sistema de formação do colchão por método pneumático (ar), que foi a idéia básica para o desenvolvimento do processo seco e semi-seco;
- 1951 – início da produção de chapas duras pelo processo semi-seco;
- 1952 – desenvolvimento de planta piloto para chapas duras pelo processo seco;
- 1955 – início de produção de chapas de fibra no Brasil;**
- 1966 – início de produção de chapas de madeira aglomerada no Brasil;**
- 1970 – início da produção de chapas de fibras de média densidade (MDF);
- 1975 – início de produção de Waferboard e OSB no mundo;
- 1997 – início de produção de MDF no Brasil;**
- 2001 – PREVISÃO DE INÍCIO DE PRODUÇÃO DE OSB NO BRASIL.**

2.2 CONCEITO DE PAINEL OSB

Segundo FORD-ROBERTSON (1971) e MALONEY (1996), OSB (Oriented Strand Board) é um painel de partículas de madeira orientadas e coladas com resina a prova d'água sob prensagem a quente. Foi desenvolvido para aplicações estruturais, sendo considerado como uma segunda geração dos painéis WAFERBOARD (painéis de partículas denominadas “wafer”), e é produzido a partir de partículas (strands) de madeira (Figura 1). As partículas da camada interna podem estar dispostas aleatoriamente ou perpendicularmente em relação às camadas externas (Figura 2). LELLES e SILVA (1998) relatam que a diferenciação em relação aos aglomerados

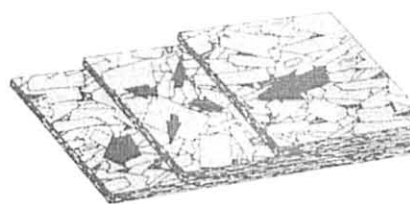
tradicionais se refere à impossibilidade de utilização de resíduos de serraria na sua fabricação, devido as dimensões das partículas. Consiste num produto de destacado crescimento no rol de produtos reconstituídos.

FIGURA 1 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DOS PRODUTOS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA (MENDES et al, 2001)



As principais diferenças entre o waferboard e OSB, consistem, primeiramente, na dimensão das partículas wafer e strands, que são mais curtos nos wafers, em torno de **40 x 40 mm**, e mais alongado no OSB, **25 mm** de largura por **80-150 mm** de comprimento. Em segundo lugar, diferenciam-se, entre si, na maneira como o colchão é formado. Nos painéis waferboard, as partículas são distribuídas aleatoriamente durante o processo de formação do colchão, numa camada homogênea, enquanto que na formação do colchão em painéis OSB (Figura 2), este é formado por algumas camadas de partículas strands, as quais, nas camadas internas, podem ser aleatórias ou alinhadas perpendicular à direção da formação do colchão, enquanto que nas camadas externas, o alinhamento é paralelo à direção de formação (JANSSENS, 1998). Estas modificações proporcionaram ao OSB uma maior resistência mecânica e estabilidade dimensional.

FIGURA 2 – ORIENTAÇÃO DAS PARTÍCULAS STRANDS NA PRODUÇÃO DE OSB (ORIENTED, 1998).



Orientação aleatória das partículas da camada interna



Partículas da camada interna perpendicular às faces

2.3 ASPECTOS GERAIS SOBRE A PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS OSB

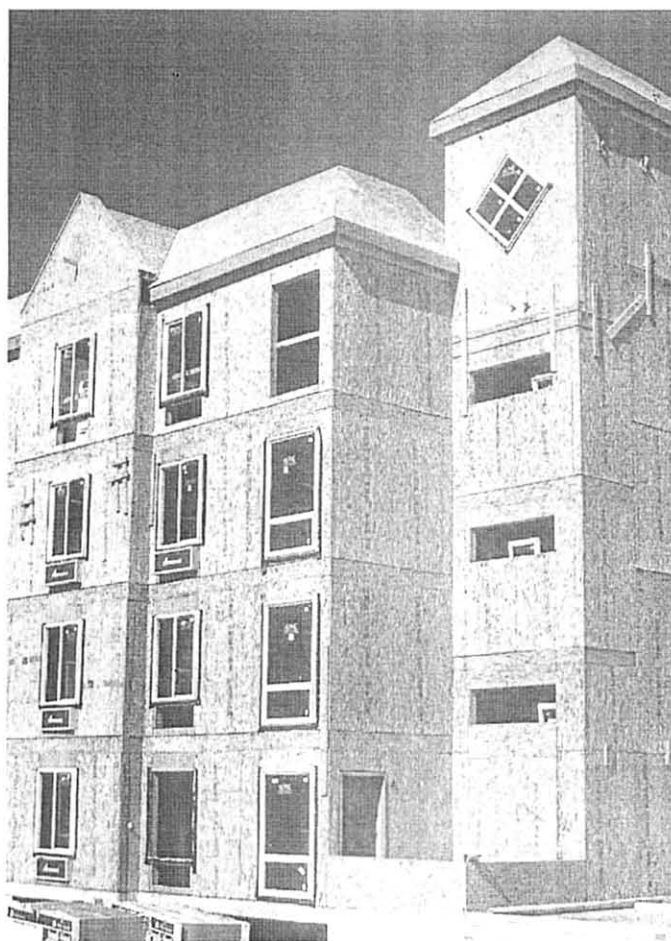
Segundo CLOUTIER (1998) o OSB normalmente é produzido em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas também pode ser produzido até a espessura de 38,0 mm. São produzidos em chapas de 1220 x 2440mm para usos estruturais, mas também podem ser produzidos em dimensões de até 3600 x 7320 mm para usos industriais

O OSB pode ser utilizado praticamente em quase todos os usos tradicionais de painéis de partículas e compensados. Ressalta-se que o OSB pode ser desenvolvido para reunir um grande número de especificações. Atualmente, os principais usos do OSB são: forro para telhados; base para paredes e pisos em construções residenciais; empacotamento e engradamento; pallets para estocagem a seco; estandes para exibição; armações para mobília; assento e encosto de cadeira; tampos de mesas industriais; painéis de paredes

decorativas; miolo para composto destinado a piso de madeira nobres; piso acabado; base para tampo de escrivaninha; construção de depósitos e tanques; tapumes e divisórias; formas descartáveis para concreto; decks e plataformas; paredes de carroceria de caminhões; chalés rústicos; cercas e janelas; prateleiras e estantes; alma para vigas em I; painéis de apoio estrutural; painéis estruturais isolantes (miolo de espuma); garagens e barracões de ferramentas (JANSSENS, 1998).

Segundo CLOUTIER (1998) OSB é principalmente usado como telhado, parede e base para pisos (Figura 3). É considerado pelas normas de construção Canadenses e Americanas como material equivalente ao compensado em aplicações estruturais, e está substituindo o compensado em tais aplicações.

FIGURA 3 – APLICAÇÃO DO OSB NA CONSTRUÇÃO CIVIL (ADAPTADO DE: RAUTEWOOD, 1998)



As vantagens do OSB em relação ao compensado segundo JANSSENS (1998), são as seguintes:

- Não apresenta delaminação, espaços internos vazios ou buraco de nó: o processo de manufatura não permite a formação de vazios ou buracos de nós. Modernas técnicas de prensagem e resinas evitam as causas da delaminação. Além disso, os painéis devem apresentar boas ligações internas nos testes de tração;
- O OSB apresenta resistência similar ao compensado:
O OSB apresenta resistências equivalentes ao compensado, como propriedades de flexão, tração e compressão. O OSB possui uma maior resistência ao cisalhamento em relação ao compensado, devido a sua formação homogênea (eles não se desfazem sob tensão de cisalhamento). A resistência do painel não é afetada pela umidade em função de sua exposição ao ambiente, em decorrência de uma construção demorada ou atrasada. Contudo, pode haver um aumento nas dimensões das bordas;
- O OSB causa pouco impacto ao meio ambiente:
O OSB, comparado com o compensado, é produzido a partir de toras de pequeno diâmetro, espécies de rápido crescimento ou de árvores de baixo valor comercial. As modernas fábricas são auto suficientes na produção de energia para aquecimento, e são equipadas para atingir as especificações de controle de poluição do ar;
- O painel é de construção uniforme:
Os painéis OSB são produzidos para ter a mesma qualidade das faces em ambos os lados. As fábricas norte americanas produzem um painel com um fundo de tela, que deixa o painel com uma textura áspera em um dos lados, mais apropriado para condições úmidas de trabalho. Além disso, a superfície do painel pode ser lixada;
- Painéis OSB são mais eficientes do que os compensados:
O OSB é feito em grandes prensas, de até 3,6 x 7,2m, e portanto pode fornecer uma grande faixa de dimensões de produtos para atender a vários usos finais;

- OSB é produzido numa ampla faixa de espessuras:

A espessura mínima padrão é de 6mm, e a máxima de 38mm. Contudo, as espessuras mais comuns são 9,5mm, 11mm, 12mm, 15mm e 18mm. Espessuras de 15mm ou maiores podem ser produzidas com bordas quadradas ou perfis macho e fêmea;

- OSB não tem emissão de gases mensuráveis:

As resinas tanto fenólicas quanto as isocianatos são completamente curadas durante o processo de prensagem, portanto, não há emissão de formaldeído livre do painel acabado. O odor associado ao OSB se restringe somente ao cheiro de madeira recém cortada.

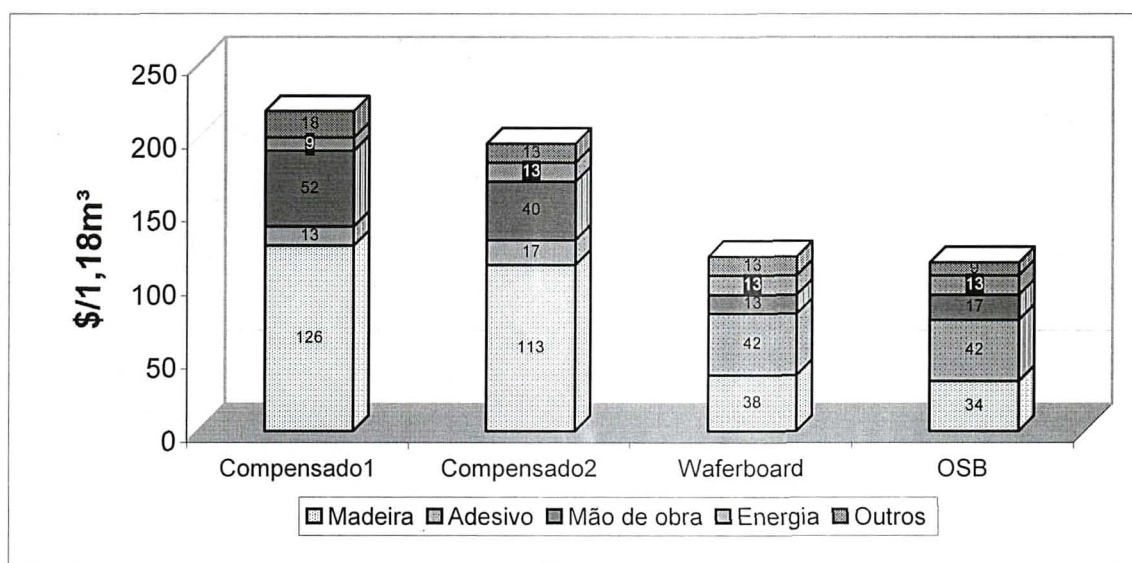
JANSSENS (1998) relata que a maioria das indústrias de OSB esta localizada na América do Norte (Estados Unidos - 21 e Canadá – 39), sendo que essas unidades industriais são caracterizadas pela produção em grande escala, atualmente superando 300.000 m³/ano. Segundo NELSON e KELLY (1998) as poucas unidades industriais localizadas fora da América do Norte apresentam relativamente uma pequena capacidade de produção, citando como exemplo, uma fábrica na Escócia com capacidade anual de 115.000 m³ e uma outra na França com capacidade de 75.000 m³/ano. O mesmo autor relata a existência de cinco pequenas fábricas na China, com baixíssima capacidade de produção em função da escassez de matéria-prima (madeira). Segundo WOLCOTT et al. (1997), a capacidade instalada da indústria chinesa de OSB varia entre 8.000 a 16.000 m³/ano e é caracterizada quase na totalidade por tecnologia doméstica, com os equipamentos desenvolvidos praticamente de forma artesanal no próprio país, e atualmente existe uma política agressiva de reflorestamento para suprir estas unidades industriais. A primeira unidade industrial brasileira de OSB terá uma capacidade instalada de 350.000 m³/ano.

A Figura 4 mostra uma comparação entre os custos de produção, mencionado por MALONEY (1984), do OSB e os seus produtos concorrentes no mercado americano de painéis estruturais. Pode-se observar que seus custos são aproximadamente a metade dos compensados produzidos naquele país e praticamente iguais ao waferboard. Este aspecto, aliado ao ganho em resistência mecânica e estabilidade dimensional, fatores estes determinados

pelo processo de produção, e que são fundamentais para aumentar a sua participação no mercado em relação aos produtos concorrentes.

Dentro deste aspecto, JANSSENS (1998) fazendo uma revisão sobre a evolução de produção de OSB na América do Norte, relata que, em 1993, as indústrias americanas produziram aproximadamente 7,5 milhões de m^3 , enquanto que a canadense produziu 2,5 milhões de m^3 . Esses valores mudaram rapidamente desde então e, em 1997, os EUA produziram 10 milhões de m^3 , enquanto que o Canadá produziu 6,0 milhões de m^3 . O autor menciona que, a partir do ano 2000, a produção de OSB deve superar a marca de 50% do mercado total de painéis estruturais da América do Norte.

FIGURA 4 – COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO ENTRE COMPENSADO DE CONIFERAS, WAFERBOARD E OSB (FONTE: MALONEY, 1984)



Compensado 1 – Produzido de coníferas do Norte dos EUA.

Compensado 2 – Produzido de Pinus do sul dos EUA(Southern pine)

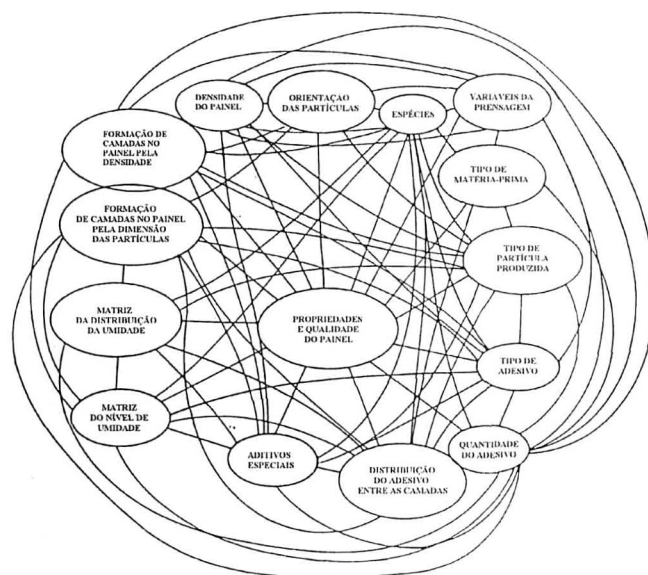
Ainda sobre os custos de produção do OSB, NELSON e KELLY (1998) apresenta as seguintes informações: 1 – o capital médio a ser investido na instalação de uma indústria de OSB, com produção de 310.000 m^3 /ano, nos Estados Unidos ou Canadá gira em torno de 80 milhões de dólares; 2 – os custos de produção do OSB nos EUA e no Canadá são intermediários entre os altos custos do compensado e os baixos do aglomerado; 3 – a estimativa dos

custos variáveis totais de produção de OSB em 1993 foram de US\$ 128 por m^3 comparado a US\$ 173 por m^3 dos compensados produzidos de Southern pine; 4 – o preço do OSB é 50% menor em relação ao compensado; e, 5 – o custo de produção do OSB é aproximadamente US\$ 70 por m^3 menor em relação ao custo de produção do compensado.

2.4 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

Quase todos os parâmetros ilustrados na Figura 5 interagem entre si, nos dois sentidos. Por conseguinte, a mudança de um desses fatores resultará na alteração de vários outros relacionados com o processo de formação da chapa. Ou seja, um parâmetro não pode ser considerado isoladamente, como se pudesse ter manipulação independente e fácil, a fim de controlar o processo de formação da chapa de forma adequada. Contudo, uma vez aceita a existência desta inter-relação entre um certo número de parâmetros, um alcance mais completo do processo pode ser atingido, e a manipulação real pode ser desenvolvida com sucesso para o controle da maior parte do processo (MALONEY, 1993).

FIGURA 5 - INTERAÇÕES DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO E AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS PARTICULADOS DE MADEIRA (MALONEY, 1993).



2.4.1 Fatores inerentes a madeira

2.4.1.1 Espécies

A espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis. Interage com todas as outras variáveis no processo e, determina o quão reduzido o painel pode ser em massa específica. Em primeiro lugar, a espécie é refletida no tipo de matéria-prima disponível e, além disso, controla o tipo de partícula que pode ser produzida economicamente. Um exemplo claro da importância da espécie na produção de painéis, consiste na formulação da resina uréia formol ser determinada pela espécie utilizada. Entretanto, algumas espécies já requerem um controle da umidade matriz mais preciso nas partículas, em decorrência da possibilidade de ocorrência de estouro, ou separação de camadas, durante a prensagem final do painel. Outrossim, para a produção de painéis de partículas em camadas, algumas espécies fornecem partículas mais adequadas para a produção de painéis com superfícies bem lisas (MALONEY, 1993).

A variedade de espécies possui dois aspectos, segundo ZOBEL e VAN BUIJTENEN (1989): a variação encontrada entre as espécies e as variações dentro de uma espécie.

A Tabela 1 apresenta uma lista das principais espécies utilizadas para produção de OSB, em laboratório e produção comercial.

TABELA 1 – ESPÉCIES UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS OSB

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	TIPO DE PRODUÇÃO	REFERÊNCIA
<i>Abies grandis</i>	Grand fir	Experimental	SOBRAL FILHO, 1981
<i>Quercus rubra</i>	Carvalho	Experimental	GEIMER, 1982
<i>Pseudotsuga manziessi</i>	Douglas-fir	Experimental	GEIMER, 1982
<i>Populus tremuloides</i>	Aspen	Experimental	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
<i>Tsuga canadensis</i>	Hemlock	Experimental	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
<i>Populus euramericana</i>	Hybrid poplar	Experimental	ZHOW, 1989
<i>Pinus strobus</i>	White pine	Experimental	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
<i>Shorea spp.</i>	Shorea	Experimental	SASAKI et al, 1989
<i>Pinus densiflora</i>	Pinus	Experimental	SASAKI et al, 1989
<i>Pseudotsuga manziessi</i>	Douglas-fir	Experimental	CANADIDO et al, 1990
<i>Betula papyrifera</i>	Paper bich	Experimental	AU et al., 1992
<i>Populus spp</i>	Aspen	Experimental	AU et al., 1992
<i>Populus tremuloides</i>	Aspen	Experimental	MACNATT et al, 1992
<i>Pinus spp</i>	Pinus	Experimental	GRIGORIOU e BIBLIS, 1995
<i>Liquidambar styraciflua</i>	-	Experimental	GRIGORIOU e BIBLIS, 1995
<i>Liriodendron tulipifera</i>	-	Experimental	GRIGORIOU e BIBLIS, 1995
<i>Hevea brasiliensis</i>	Ruberwood	Experimental	YUSOFF e HORIE, 1997
<i>Pinus massoiana</i>	Massion pine	Comercial**	WOLCOTT et al, 1997
<i>Populus deltoides</i>	Poplar	Comercial**	WOLCOTT et al, 1997
<i>Populus spp</i>	Aspen	Comercial*	WU, 1999
<i>Pinus spp</i>	Southern pine	Comercial*	WU, 1999
<i>Populus tremuloides</i>	Aspen	Comercial*	CLOUTIER, 1998
<i>Betula papyrifera</i>	Betula	Comercial*	CLOUTIER, 1998
<i>Cryptomeria japonica</i>	Sugi	Experimental	ZHANG et al, 1998
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	Hinoki	Experimental	ZHANG et al, 1998
<i>Populus gradidentata</i>	Poplar	Experimental	WU, 1999
<i>S. curtissi</i>	-	Experimental	MURAKAMI et al, 1999
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	Experimental	GOUVEIA et al, 2000
<i>Eucalyptus urophylla</i>	Eucalipto	Experimental	GOUVEIA et al, 2000
<i>Populus spp</i>	Aspen	Experimental	WANG e WINISTORFER, 2000
<i>Pinus spp</i>	Southern pine	Experimental	WANG et al, 2000
<i>Chryptomeria japonica</i>	Japanese cedar	Experimental	SUZUKI e TAKEDA, 2000

*Industria Americana e canadense de OSB; **Industria Chinesa de OSB

Nos parágrafos seguintes, são relatados alguns fatos que mostram a influência da espécie botânica na qualidade dos painéis, e sua correlação com outras variáveis do processo.

ZHOW (1990), ao não encontrar relação entre densidade dos painéis e condutibilidade térmica, menciona que as propriedades térmicas dos painéis

dependem especialmente da espécie, ou tipo de madeira, utilizada na manufatura. Este pesquisador produziu os painéis OSB com partículas de “Hybrid poplar”, e relata que este tipo de madeira apresenta problemas de alteração de cor e baixa resistência ao ataque de fungos, podendo afetar a qualidade dos painéis.

AU et al. (1992), verificando a possibilidade de utilização de “Paper Birch” na camada interna de painéis OSB produzidos de Aspen, concluíram que a mesma pode ser aproveitada com sucesso para este fim, e que o uso de espécies de média densidade levam à diminuição do consumo de resina, conseqüentemente na redução dos custos de produção e no aproveitamento mais racional dos recursos florestais disponíveis.

YUSOFF e HORIE (1997) comprovaram que a madeira de *Hevea brasiliensis* (“rubberwood” – seringueira) apresenta um grande potencial para produção de painéis OSB, pois os painéis com ela produzidos apresentam propriedades dentro dos níveis aceitáveis para aplicação estrutural.

ZHANG (1998) misturando Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) e Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) na produção de painéis OSB, concluiu que a incorporação de partículas “strands” de Hinoki nas camadas externas, com baixa proporção de face/miolo, melhoraram as propriedades mecânicas no sentido paralelo à orientação.

WANG e WINISTORFER (2000) observaram que painéis OSB produzidos de Aspen (*Populus spp*) apresentaram maior Inchamento em Espessura (IE) em relação aos painéis produzidos com *Pinus spp*. Os autores atribuíram esta diferença à menor densidade da madeira de Aspen em relação a de *Pinus*, resultando em uma maior razão de compactação dos painéis. Também foi concluído neste trabalho que os dois gêneros podem ser misturados ou alternados em face/miolo, na manufatura de painéis OSB, sem prejuízo na qualidade.

2.4.1.2. Densidade da madeira

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades da chapa, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. Esta densidade, tem sido um importante fator na determinação de que espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

O emprego de espécies de alta densidade, pode ser viabilizada através da mistura com espécies de baixa densidade, a fim de obter uma mistura de espécies com densidade média (MALONEY, 1993).

Variações na densidade do material a ser processado, segundo MALONEY (1993), podem provocar severos problemas operacionais, tais como:

1. Operações de moagem, que fornece partículas com geometria desejada;
2. Operações de secagem;
3. Consumo de resinas;
4. Características de contração, que afetam equipamentos medidores e alimentadores;
5. Operações de prensagem;
6. Propriedades físicas do produto final.

Segundo CLOUTIER (1998), de modo geral as densidades mais desejadas para a produção de painéis OSB variam de 250 a 450 kg/m³. Espécies de densidades entre 450 e 550 kg/m³ podem ser utilizadas, mas são menos desejadas e mais freqüentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

2.4.1.3. pH

A acidez da madeira é uma importante variável que requer atenção, sendo avaliada pelo nível de pH e capacidade compensadora. Muitas pesquisas têm sido realizadas nesse sentido por empresas fabricantes de adesivos. A fim de empregar adesivos de forma econômica e adequada ao tipo de operação utilizada nas unidades industriais, condições químicas apropriadas devem ser determinadas na montagem do painel, para a cura da resina propriamente dita pois, isto é importante, principalmente, nas empresas que empregam resinas uréia-formaldeído. Essas condições são dependentes, em parte, de uma certa extensão de acidez no processo de cura (MALONEY, 1993).

2.4.1.4. Teor de umidade

O teor de umidade da matéria-prima é importante no planejamento de qualquer unidade industrial, tendo em vista o dimensionamento da capacidade necessária do secador. Se o recebimento de um material com alto conteúdo de umidade é previsto para o futuro, isto terá de ser considerado no projeto original. Além disso, é importante ressaltar que, grandes variações no conteúdo de umidade, do material que entra na fábrica, também causam problemas na produção (MALONEY, 1993).

A madeira com teor de umidade muito elevado, apesar de resistir menos ao corte, tem tendência a produzir uma superfície felpuda, o que leva a uma adesão pobre, além de elevar os custos de secagem. A condição úmida ideal das toras deve se situar pouco acima do ponto de saturação das fibras. No caso da produção de OSB, a partir de toras de álamo, a condição úmida destas toras se situa em torno de 75 a 80 % (base seca). Contudo, para coníferas, este conteúdo de umidade é geralmente mais baixo (CLOUTIER, 1998).

Espécies com elevado teor de umidade podem ter dificuldade na picagem ou moagem, por causa da obstrução do equipamento, além da secagem ser dispendiosa em função da necessidade de uma maior quantidade de energia. Em alguns casos, alta umidade tende a produzir partículas com

superfícies encrespadas, que são mais difíceis de colar e, conseqüentemente, podem necessitar de maior quantidade de resina. Madeiras com elevado teor de umidade, normalmente, possuem um melhor rendimento em partículas, devido a reduzida quantidade de finos produzida pois, nessa condição, a quebra de fibras se reduz durante a produção das partículas. Contudo, matéria-prima com reduzido teor de umidade, geralmente possui as características opostas das supra mencionadas (MALONEY, 1993).

Todos esses fatores têm de ser levados em consideração nas seguintes e importantes áreas, segundo MALONEY (1993):

- Na seleção de espécies a serem utilizadas;
- Na seleção da localização da unidade industrial;
- No projeto do processo industrial;
- Na operação.

O mesmo autor relata também que durante o processo de produção, a variação do teor de umidade da matéria-prima, pode acarretar problemas operacionais em quase todas as etapas produtivas, incluindo a cura da resina durante a prensagem dos painéis. A variação do teor de umidade da matéria-prima, normalmente está associada aos seguintes fatores:

- materiais provenientes de diferentes localidades;
- na variação da proporção cerne/alburno;
- utilização e proporção de diferentes espécies;
- na utilização de resíduos lenhosos, relacionados as diferenças nas práticas de extração de toras e a conversão destas em madeira serrada e respectiva estocagem, de um fornecedor individual ou vários .

2.4.1.5. Extrativos

Extrativos não fazem parte da estrutura da madeira, e incluem taninos e outros polifenólicos, substâncias corantes, óleos essenciais, gorduras, resinas, graxas, gomas, amido etc. Os extrativos na madeira variam, em proporção quantitativa, de 5 a 30%, e podem ser removidos por solventes adequados (SJOSTRON, 1993).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas, ao longo dos anos, sobre as variações e os tipos de extrativos nas espécies. Muito pouco dessas informações têm sido relacionadas à manufatura de painéis de partículas de madeira (MALONEY, 1993).

Nos casos onde os tipos de extrativos, e suas variações quantitativas, representam uma importante parte no processo produtivo, problemas podem ocorrer no consumo de resina e na sua taxa de cura. Adicionalmente podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados com o estouro de painéis durante a prensagem. Tais problemas, devem ser avaliados, quando do uso de espécies que possuam extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (MALONEY, 1993).

Alguns extrativos de certas espécies, podem causar problemas como o estouro acima mencionado, a exemplo da *Thuja plicata*, possuidora de extrativos com material volátil, o qual vaporiza durante a operação de prensagem à quente, e este vapor pode ocasionar problemas de estouro e delaminação ao final do período de prensagem (MALONEY, 1993).

Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de OSB. Em geral, as espécies de alto teor de extrativos são propensas à estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem também interferir na cura da resina, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

2.4.1.6. Local de crescimento

Quando uma árvore cresce, em condições desfavoráveis, materialmente afeta a razão de crescimento, os constituintes químicos da estrutura da madeira, as estruturas celulares, a razão cerne-alburno, além de outros fatores associados com o crescimento das árvores. Essas diferenças podem ser evidenciadas entre áreas montanhosas de altitude e vales, áreas ricas e pobres de nutrientes no solo, áreas de densa vegetação rasteira, com solo rochoso, a quantidade de precipitação de chuvas, e assim por diante (ZOBEL e VAN BUIJTENEN, 1989).

Uma unidade industrial de painéis de madeira, naturalmente, tem muito pouco controle sobre a qualidade da matéria-prima que recebe, que pode ter ampla variedade em relação aos locais de crescimento, assim como aqueles citados acima. Todavia, madeiras aparentemente idênticas, devem ser avaliadas com cuidado. Importantes fatores envolvidos são o quanto a matéria-prima pode ser transformada em partículas adequadamente, problemas potenciais na secagem e, talvez, o mais importante, as diferenças em acidez, que afetam a cura da resina durante a prensagem à quente. Estudos revelam que alterações na madeira de mesma espécie, devido a variações ambientais, têm afetado em muito a taxa de cura da resina, e tais resultados demonstram que o sucesso de uma espécie, proveniente de um determinado local, não é certeza de sucesso se proveniente de outro local (MALONEY, 1993).

2.4.1.7 Idade cambial

Mudanças abruptas na densidade e porosidade da madeira resultam em partículas strands mais estreitas, além de uma maior produção de finos. Entretanto, a presença de porosidade difusa em folhosas e coníferas, com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio, são mais indicadas para a produção de OSB (CLOUTIER, 1998).

Outro aspecto de preocupação dos pesquisadores, para a melhoria da qualidade dos painéis OSB, está relacionado com a proporção de madeira juvenil (ZOBEL e SPRAGUE, 1998), que é caracterizada por uma maior instabilidade dimensional em relação a madeira adulta. Neste sentido, HON e BANGI (1996) demonstraram experimentalmente que se as partículas strands passarem por um pré-tratamento de acetilação, pode-se melhorar sensivelmente a estabilidade dimensional dos painéis OSB.

2.4.1.8. Substâncias estranhas

A denominação “substâncias estranhas”, talvez não seja adequada quando considera-se as espécies. Contudo, essas substâncias estão associadas com a matéria-prima recebida, que normalmente vem acompanhada de

resíduos de outras unidades industriais processadoras de madeira, como partículas de casca indesejáveis e substâncias minerais contidas na própria madeira. Segundo MALONEY (1993), este é um problema real na região dos “Southern pine” nos E.U.A.

Outro problema se refere a partículas metálicas encontradas na madeira. Peças como pregos, parafusos, componentes de motosserra ou de outras máquinas podem ser incorporados de alguma forma à madeira. Esses materiais podem causar descolorações no painel, além de afetar o consumo de resina, aumentar a absorção de água na chapa, ou afetar adversamente o acabamento do produto com revestimentos e coberturas .

Estas partículas também podem causar desgastes e danos aos equipamentos utilizados nas operações de geração e secagem das partículas, além de danificar as ferramentas de corte usadas no acabamento e usinagem dos painéis, tanto na produção, como na utilização final (MALONEY, 1993).

2.4.1.9 Forma do tronco

Considerando-se que as facas que produzem as partículas efetuam o corte no sentido paralelo ao eixo longitudinal das toras, as mesmas deveriam ser retas e curtas, além de apresentar um valor mínimo de conicidade. Isto assegura, principalmente, que a direção principal das partículas strands correspondem a direção principal da madeira, num arranjo que favoreça a melhor estabilidade dimensional possível (CLOUTIER, 1998). Segundo BURGER e RICHTER (1991) as coníferas apresentam maior conicidade que as folhosas.

2.4.2 Fatores inerentes ao processo

2.4.2.1 Densidade dos painéis

A Tabela 2 mostra a densidade dos painéis produzidos comercialmente e experimentalmente, bem como a densidade da madeira utilizada e as respectivas razões de compactação obtidas.

TABELA 2 – DENSIDADES DOS PAINÉIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE OSB.

DP (g/cm ³)	DM g/cm ³	RC	REFERÊNCIA
0,67 e 0,73	0,39	1,71 e 1,87	SOBRAL FILHO, 1981
0,48 a 0,96			GEIMER, 1982
0,48 a 0,96	0,43	1,11 a 2,23	GEIMER, 1982
0,70	0,36	1,94	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
0,70	0,38	1,84	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
0,65	0,40	1,62	ZHOW, 1989
0,70	0,35	2,00	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
0,70	0,68	1,03	SASAKI et al, 1989
0,70			SASAKI et al, 1989
0,63	0,48		AU et al, 1992
0,63 a 0,67	0,36	1,75 a 1,86	MACNATT et al, 1992
0,63 a 0,67	0,36	1,75 a 1,86	CLOUTIER, 1998
0,63 a 0,67	0,48	1,31 a 1,39	CLOUTIER, 1998
0,60 e 0,70			ZHANG et al, 1998
0,60 e 0,70			ZHANG et al, 1998
0,55 a 1,15			WU, 1999
0,60 e 0,70			MURAKAMI et al, 1999
0,61 e 0,45			GARCIA et al, 1999
0,82	0,68	1,20	GOUVEIA et al, 2000
0,81	0,78	1,04	GOUVEIA et al, 2000
0,61			WANG et al, 2000
0,67			WANG et al, 2000
0,65			SUZUKI e TAKEDA, 2000

DP – densidade dos painéis; DM – densidade da madeira e RC – razão de compactação

SOBRAL FILHO (1981) concluiu que aumentando-se a densidade dos painéis de 0,67 para 0,73g/cm³, ocorre um aumento nas propriedades mecânicas dos painéis (MOR, MOE e ligação interna). No entanto, não se observou efeito da densidade dos painéis sobre Inchamento em Espessura (IE-24h) e expansão linear. O mesmo autor também observou que a introdução de

partículas menores (“pulp chip strands”) causou um pequeno aumento na densidade dos painéis, mas uma diminuição nos valores de MOR e MOE.

Segundo ZHOW (1990) a densidade dos painéis influencia de maneira significativa o MOR, MOE, ligação interna e a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos. No entanto, concluiu que para o caso específico do seu estudo, o relacionamento da densidade dos painéis com estas propriedades não é linear. Esse pesquisador também encontrou alta correlação entre a densidade dos painéis em relação a absorção de água e inchamento em espessura, porém ele atribuiu o aumento destas propriedades ao número maior de partículas necessárias para confecção de painéis de densidade maior, que provavelmente seria uma influência química, pelo aumento do número de sítios higroscópicos, e também pelo fato que a resina utilizada foi a uréia-formaldeído (UF). CANADIDO et al. (1990) também concluíram que o MOR paralelo e perpendicular de painéis OSB, produzidos com partículas de douglas-fir, são afetados pela densidade dos painéis.

ZHANG et al. (1998) encontraram um aumento no MOR, MOE e Ligação Interna (LI), quando a densidade dos painéis passou de 0,60 para 0,70g/cm³. WU (1999) também constatou a mesma tendência de aumento de MOR e MOE, com aumento da densidade dos painéis na faixa de 0,55 a 1,15g/cm³.

GARCIA et al. (1999) encontraram relação positiva entre densidade dos painéis e condutibilidade térmica, e relação negativa com permeabilidade lateral/transversal e convecção térmica dos painéis OSB.

ZHOW (1990) relata que a faixa ideal de densidade dos painéis, para manufatura de OSB está entre 0,65 e 0,70g/cm³. No Canadá, as indústrias produzem chapas OSB com densidade na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm³ (CLOUTIER, 1998).

Entretanto, quanto mais elevado for a densidade dos painéis, maior será a dificuldade na usinagem, que impede a aceitação de produtos densos no mercado convencional acostumado com a utilização de painéis de densidade menores (MALONEY, 1993).

2.4.2.2 Razão de compactação

A relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, denominada de razão de compactação, exerce um efeito marcante nas propriedades dos painéis particulados, tendo em vista o processo de densificação do material, para consolidação do painel até a espessura final. A utilização de madeiras de baixa densidade resulta em chapas de alta razão de compactação (Tabela 2) e maior área de contato entre as partículas, resultando em melhores propriedades de flexão estática e ligação interna (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; KELLY, 1977).

A razão de compactação estabelece a relação entre a densidade da chapa pela densidade da madeira:

$$RC = \frac{d_{chapa}}{d_{madeira}} = \frac{t_{colchão}}{t_{chapa}}$$

Sendo:

RC : razão de compactação;

d_{chapa} : densidade da chapa (kg/m^3);

$d_{madeira}$: densidade da madeira (kg/m^3);

$t_{colchão}$: espessura do colchão (mm);

t_{chapa} : espessura da chapa (mm).

Uma densidade mais baixa da madeira promove uma razão de compactação mais elevada e, por conseguinte, uma maior superfície de contato entre as partículas em comparação à uma madeira de densidade mais alta (CLOUTIER, 1998). Portanto, o colchão produz um produto mais uniforme e, consequentemente, uma capacidade mais elevada de transmitir esforços entre as partículas. Isto resulta em propriedades de flexão e ligação interna mais elevadas para chapas confeccionadas com madeira de baixa densidade.

Partículas geradas de espécies de madeiras densas, quando compactadas durante a prensagem dos painéis, produzem uma baixa razão de

compactação. Portanto, para apresentarem propriedades aceitáveis para a maioria das utilizações, há necessidade de se alterar outras variáveis do processo, como por exemplo, o aumento do teor de resina, o que aumenta o custo de produção. A razão pelo emprego preferencial de espécies relativamente leves, é a de que tais espécies podem ser comprimidas numa chapa de partículas de média densidade, com a garantia de que uma suficiente área de contato entre partículas é desenvolvida durante a operação de prensagem, para realizar uma boa colagem. Espécies mais densas, simplesmente não podem ser comprimidas numa chapa de partículas de média densidade com boa colagem.

Considerando-se a pressão específica constante durante a prensagem, as partículas de madeiras mais leves, produzirão painéis com valores maiores de ligação interna e resistência mecânica em relação às partículas de madeiras de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

MENDES et al. (2000c) estimaram a razão de compactação de painéis OSB, utilizando a faixa de densidade dos painéis de 0,63 a 0,67g/cm³, produzidos pelas indústrias Americanas e Canadenses de OSB. As madeiras utilizadas, cujas informações estavam disponíveis na literatura, foram de plantios comerciais e experimentais feitos em território brasileiro, de *Pinus*, *Eucalipto* e outras espécies de rápido crescimento. Baseando-se apenas no fator razão de compactação, os autores chegaram às seguintes conclusões:

- O gênero *Pinus* é o de maior potencialidade para a produção de painéis OSB no Brasil;
- As principais espécies que podem ser utilizadas na produção nacional de OSB são os *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* e alguns *Pinus* tropicais disponíveis;
- A utilização da madeira de eucalipto na indústria de OSB dependerá de pesquisas direcionadas para viabilizar este material principalmente aos fatores inerentes ao processo;
- Outras espécies de rápido crescimento, mostraram valores compatíveis de Razão de compactação, no entanto, as mesmas ainda não são plantadas em escala comercial.

2.4.2.3 Composição dos painéis

A Tabela 3 mostra as proporções face/miolo, comumente utilizadas na manufatura de painéis OSB tanto em laboratório como comercialmente.

TABELA 3 – COMPOSIÇÕES DOS PAINÉIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE OSB.

PROPORÇÃO (FACE/MIOLO/FACE)*	REFERÊNCIA
camada única	SOBRAL FILHO, 1981
15/70/15	GEIMER, 1982
camada única	ZHOW, 1990
30/40/30 e 25/50/25	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
33,3/33,3/33,3	AU et al. (1992)
33,3/33,3/33,3	MACNATT et al, 1992
camada única	GARCIA et al., 1999
20/60/20 30/40/30	CLOUTIER, 1998
5/90/5 10/80/10	ZHANG et al, 1998
camada única	WU, 1999
25/50/20 15/70/15 10/80/10	MURAKAMI et al, 1999
camada única	GOUVEIA et al, 2000
25/50/25	WANG et al, 2000
5/90/5 15/70/15 25/50/25 35/30/35	SUZUKI e TAKEDA, 2000

*valores numéricos em percentual da espessura total dos painéis

AVRAMIDIS e SMITH (1989) observaram uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE, MOR e Expansão Linear), quando aumentou-se a proporção face/miolo. Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação, enquanto que na posição perpendicular, observou-se o contrário, ocorrendo uma redução de MOE e MOR e aumento na Expansão linear. Os mesmos autores não observaram um efeito claro da influência das proporções das camadas testadas (tabela 3), nas propriedades de Absorção de água (AA) e Inchamento em Espessura (IE). Por outro lado, observaram uma diminuição da ligação Interna (LI) dos painéis OSB, quando a relação face/miolo foi aumentada.

ZHANG et al. (1998) também encontraram a mesma tendência para o aumento da relação face miolo. Os valores específicos de MOR e MOE foram superiores aos de compensados comerciais. No entanto, houve uma redução de

50 a 70% de MOE e MOR, respectivamente, após o teste de fervura dos painéis OSB.

Da mesma forma, MURAKAMI et al. (1999) constataram um incremento no MOR e MOE dos painéis OSB com aumento da relação face/miolo. Por outro lado, ocorre uma diminuição no inchamento em espessura e expansão linear, e a ligação interna não é afetada pelo aumento da relação face/miolo.

SUZUKI e TAKEDA (2000) também relatam que as propriedades de flexão estática são altamente afetadas pela proporção das camadas, e que estas propriedades podem ser igualadas no sentido paralelo e perpendicular com 25% de camada externa (25/50/25).

Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, CLOUTIER (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60 a 60:40 baseado na percentagem de peso seco de partículas encoladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas Indústrias Canadenses e Americanas de OSB.

2.4.2.4 Resina

Segundo CLOUTIER (1998) os quatro principais tipos de resinas atualmente empregados na indústria de painéis compostos à base de madeira, são os seguintes: uréia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF), e difenil metano di-isocianato (MDI). A resina FF é atualmente a mais empregada pela indústria de chapas OSB. Contudo, a resina MDI é usada por, aproximadamente, 35 % das indústrias de OSB, principalmente nas camadas internas das chapas.

A Tabela 4 mostra os teores de resina e parafina utilizados na confecção de painéis OSB, tanto experimentalmente como industrialmente.

TABELA 4 – TEORES DE RESINA E DE PARAFINA UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE OSB.

TEOR DE RESINA (%)	TEOR DE PARAFINA (%)	REFERÊNCIA
5	1	SOBRAL FILHO, 1981
5	1	GEIMER, 1982
4 – 5 – 6	-	AVRAMIDIS e SMITH, 1989
9*	1,5	ZHOW, 1990
5	1	AU et al, 1992
3,5	0,5 – 1,0 – 1,5	WINISTORFER et al., 1992
2,5	-	MACNATT et al, 1992
3 e 5	-	YUSOFF e HORIE, 1997
3 – 6	Até 1,5	CLOUTIER, 1998
5 – 10***	-	ZHANG et al, 1998
4 – 6	-	WU, 1999
3 – 5 – 10**	-	MURAKAMI et al, 1999
10,0	-	GOUVEIA et al, 2000
3	0,65	WANG et al, 2000
6	-	SUZUKI e TAKEDA, 2000

* UF; **MDI, FF e MF; ***MDI (10% nas faces e 5% no miolo)

AVRAMIDIS e SMITH (1989), testando níveis de resina em painéis OSB produzidos em laboratório, encontraram diferença estatística significativa entre médias, quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%. Esta diferença influenciou o MOE, MOR, ligação interna (LI), inchamento em espessura (IE) e expansão linear.

YUSOFF e HORIE (1997) relatam que os painéis OSB produzidos com resina isocianato (MDI) apresentaram um valor médio de MOR em torno de 817 kgf/cm², enquanto que os painéis produzidos com resina fenólica (FF) apresentaram um valor médio de MOR em torno de 528 kgf/cm². Os painéis produzidos com resina MDI também apresentaram inchamento em espessura menor (16,4%) em relação aos produzidos com resina fenólica que apresentou valores médios em torno de 29,4%.

MURAKAMI et al. (1999) também estudaram os efeitos do tipo e teor de resina, e observaram um incremento nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, com o aumento do conteúdo de resina (tabela 4). A resina que teve o melhor desempenho foi a isocianato (MDI) em relação à fenólica (FF) e melamina (MF). Em contrapartida, WU (1999) não

encontrou uma relação bem definida entre teor de resina e MOR, MOE e expansão linear, quando este teor foi aumentado de 4 para 6%. Ele menciona que o efeito do nível de resina sobre estas propriedades são relativos e mais diversificados, não seguindo, portanto uma tendência lógica.

WATAI (1996) menciona que a indústria de produtos colados, principalmente à base de madeira pode se tornar cada vez mais importante e competitiva no setor de construção civil. Ainda segundo o autor, este processo requererá etapas audaciosas em pesquisas e aplicações de novas tecnologias. Dentre os estímulos, poderia ser citado, o advento de adesivos de dois componentes para substratos úmidos (acima de 13%). No entanto esta preocupação, já era motivo de estudo de PHILLIPS et al. (1991) que relatam as técnicas de colagem de OSB, com resina fenólica (FF) a altos teores de umidade do colchão, como ponto primordial na redução dos custos e da emissão de gases tóxicos dos secadores das partículas. Nesta mesma linha de trabalho, ANDERSEN e TROUGHTON (1996) desenvolveram uma nova formulação de resina fenólica para colagem de painéis OSB a altos conteúdos de umidade. Outra preocupação que está sendo motivo de estudo, refere-se à incorporação de lignina (resíduo da polpação e hidrólise ácida da madeira) às formulações tradicionais de resinas utilizadas na colagem de painéis OSB. Neste sentido CALVÉ et al. (1988), concluíram que uma grande economia pode ser alcançada, incorporando até 50% de lignina (NH₄SSL) à resina fenol-formaldeído (FF), podendo ser utilizada nas camadas externas de painéis OSB, sem haver a necessidade de mudanças nas condições de prensagem, sem afetar a qualidade dos painéis produzidos.

2.4.2.5 Parafina

Os conteúdos de parafina mais utilizados na produção de OSB foram apresentados na Tabela 4.

A parafina é adicionada a fim de proporcionar uma melhora na resistência do painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida. Contudo, isto não melhora a performance do painel quanto à absorção de vapor d'água. O efeito da parafina, na absorção da água na forma líquida e

aumento na espessura do painel, é significativa somente em curto intervalo de tempo, pois em períodos de tempo mais longos o efeito não é significativo.

Segundo MATOS (1988) o MOR e MOE apresentaram maiores valores médios quando foi adicionado 1% de parafina às partículas com teor de umidade de 3 e 5% para produção de painéis Waferboard. Ele supôs que este fato tenha ocorrido pelo acréscimo de umidade às partículas com a adição da parafina, e a tendência seria a menor resistência a compactação pelo aumento da plasticização devido a adição de umidade, com a menor resistência haveria uma maior polimerização da resina, pelo menos nas camadas superficiais. Esta suposição decorre do fato de que KELLY (1997) em sua extensa revisão sobre a influência das variáveis de processamento nas propriedades dos painéis particulados, ressalva que aplicações de parafina acima de 1% baseado no peso seco do material causam reduções nas propriedades de resistência dos painéis pela influência sobre a reação de cura do adesivo.

WINISTORFER et al. (1992) testaram dez tipos e três níveis de parafina (Tabela 4) na manufatura de painéis OSB, concluindo que as tendências foram evidentes, e estatisticamente significativa a influência de redução do tipo e nível de parafina estudadas nas propriedades de Absorção de Água (AA), Inchamento em Espessura (IE) e expansão linear dos painéis OSB. No entanto, para qualquer tipo em qualquer nível de parafina aplicadas aos painéis, ocorre uma redução na propriedade Ligação Interna (LI).

A indústria utiliza a parafina numa proporção máxima em torno de 1,5 %. Uma proporção mais elevada não é eficiente na redução de absorção de água e inchamento em espessura (CLOUTIER, 1998), é neste sentido que todas as pesquisas utilizando parafina não ultrapassam 1,5% de parafina baseado no peso seco do material (Tabela 4).

2.4.2.6 Dimensões das partículas

Segundo CLOUTIER (1998) a geometria das partículas “strand” é uma das variáveis mais importantes na manufatura de painéis OSB.

O comprimento e a largura das partículas são parâmetros que controlam o grau de orientação na formação dos painéis OSB. GEIMER

(1976) afirma que partículas do tipo “strand” proporcionam melhor orientação que partículas do tipo “sliver” ou “flake”. Segundo MALONEY (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de, no mínimo, três para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por MARRA (1992) para classificar as partículas “strand”.

KELLY (1977) relata que é muito freqüente encontrar na literatura, indicações de que na relação entre o comprimento e a espessura (índice de esbeltez), a espessura tem o efeito mais importante, principalmente acima de 0,5mm. Outro aspecto importante encontrado por esse pesquisador, foi que em algumas pesquisas a relação comprimento/espessura das partículas (flake), foi utilizada na correlação com o MOR. No entanto, não foi encontrada boas correlações quando foi considerado comprimento e espessura separadamente. Nesta linha de raciocínio CANADIDO et al. (1990), concluíram que o MOR paralelo e perpendicular dos painéis OSB produzidos com partículas de douglas-fir, são afetados pelo índice de esbeltez. SOBRAL FILHO (1979) ressalva que a largura das partículas também tem sido um parâmetro de estudo. Entretanto, parece que sua influência não é tão significativa como o comprimento e a espessura. Dentro deste aspecto GEIMER (1976) encontrou um aumento no MOR e MOE, com o aumento da largura das partículas. Também foi constatado que para largura de partículas abaixo de 12,7mm, esta se torna um fator de menor importância no desenvolvimento das propriedades de flexão.

SOBRAL FILHO (1979) produziu painéis OSB de *Abies grandis* (Dougl.) Lindl. misturando dois tipos de partículas “strand” (ring flaker e drum flaker), na proporção de 0, 25, 45, 60 e 75% da primeira em relação à segunda, chegou a conclusão de que, de maneira geral esta combinação afeta significativamente as propriedades dos painéis produzidos. Os painéis contendo acima de 75% das partículas menores (pulp chip strands) não alcançaram os valores mínimos de MOR e MOE estabelecidos pelo U.S. Forest Service Fask Force.

IWAKIRI (1989) concluiu que as chapas tipo “WAFER” apresentaram maior MOE que as chapas tipos “flake” e “sliver”, devido principalmente ao

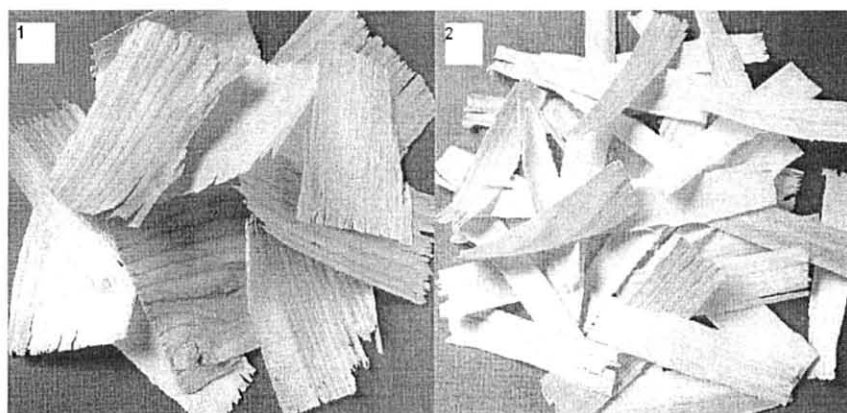
maior comprimento das partículas e índice de esbeltez. Foi concluído que a menor área superficial específica das partículas e maior disponibilidade de resina por unidade de área das partículas do tipo “wafer”, pode ter contribuído para a diferença do MOE em relação aos outros painéis de “flake” e “sliver”.

Atualmente, existem pesquisas com a finalidade de desenvolver tipos de chapas OSB com características mecânicas ainda superiores. ZHANG et al (1998) conseguiram um aumento no MOR e MOE de painéis OSB, de 47% a 124% e de 30% a 65%, respectivamente, utilizando partículas ultrafinas nas camadas externas (0,1 mm de espessura) e, nas camadas internas, numa média de 0,5 mm.

2.4.2.7 Orientação das partículas

Pode-se dizer que a orientação das partículas é a variável mais importante na produção de painéis OSB, pois esta operação é a concepção inicial que deu origem ao produto. Quando as partículas Wafer de formato quadrado, passaram a ser produzidas mais alongadas e mais estreitas (strands) de formato retangular (Figura 6), foi possível orientar com mais facilidade as partículas. Os painéis (OSB) ganharam em resistência mecânica e estabilidade dimensional (JANSSENS, 1998).

FIGURA 6 – PARTÍCULAS WAFER E STRAND



1 - Partículas Wafer

2 - Partículas Strand

Segundo GEIMER (1976) o comprimento e a largura das partículas são os mais importantes parâmetros no controle do grau de orientação. Outros fatores que afetam significativamente a orientação das partículas, são a altura de queda das partículas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador. SOBRAL FILHO (1979) também reconheceu que as dimensões e a geometria das partículas são os fatores principais que determinam o grau de orientação. Essa inclinação influencia diretamente o gradiente de densidade; flexão estática (MOR e MOE), ligação interna, expansão linear e inchamento em espessura dos painéis produzidos.

SOBRAL FILHO (1981) concluiu que a adição de partículas menores (pulp chip strands) provocou um decréscimo na percentagem de orientação das partículas, refletindo conseqüentemente na diminuição dos valores de MOE, MOR e aumento da expansão linear. Em contrapartida, a introdução das referidas partículas no processo de manufatura dos painéis OSB, não afetou o gradiente de densidade, ligação interna e inchamento em espessura.

ZHOW (1989) desenvolveu um orientador mecanizado para uso em laboratório, e testou quatro fatores referentes ao orientador, que poderiam afetar a orientação das partículas: distância entre as lâminas (D); Velocidade de rotação das lâminas (F); largura das lâminas (L) e altura de queda das partículas (H). Os resultados mostraram que os fatores D e H exercem uma grande influência na orientação das partículas. A melhor condição de orientação foi a seguinte : $D = 25\text{mm}$; $F = 90\text{min}^{-1}$; $L = 60\text{mm}$ e $H = 50\text{mm}$.

ZHOW (1990) afirma que a orientação das partículas causa um aumento de 40 a 50% no MOR e MOE, respectivamente, no sentido paralelo à orientação em relação aos painéis de partículas distribuídas aleatoriamente. Outra afirmação desse pesquisador é que o MOR e MOE são de 2 a 3 vezes maiores no sentido paralelo à orientação do que na direção perpendicular. O autor recomenda também a orientar as partículas das camadas internas (miolo) perpendicularmente às partículas das camadas externas (faces), ao observar que a disposição em uma mesma direção, causa um efeito negativo nas propriedades de arrancamento de pregos e parafuso. E, finalmente, concluiu que a orientação das partículas não afeta a ligação interna, condutibilidade térmica e as propriedades acústicas dos painéis OSB.

A orientação das partículas das camadas das faces em painéis OSB, melhoram sensivelmente as propriedades de flexão estática e rigidez no sentido paralelo à orientação, no entanto, ocorre uma redução no sentido perpendicular. Por outro lado, esta orientação não afeta as propriedades de ligação interna (LI), Inchamento em Espessura (IE) e Expansão Linear (MAcNATT et al, 1992). WU (1999) comparando o MOR e MOE de painéis aleatórios (sem orientação) em relação aos painéis de camada única e orientados, notou que estas propriedades variam significativamente, aumentando os valores quando as partículas são orientadas.

Segundo SUZUKI e TAKEDA (2000) o ângulo formado na distribuição das partículas no colchão é altamente dependente da altura de queda das partículas, sendo que alturas menores proporcionam melhor orientação devido o ângulo formado ser menor. Os mesmos autores relatam também que ao ângulo formado na distribuição das partículas no colchão é altamente dependente do comprimento das partículas, ou seja, partículas mais longas proporcionam melhor orientação, aumentando assim as propriedades de flexão.

2.4.2.8 Umidade das partículas

Segundo MATOS (1988), a importância do teor de umidade do material no ciclo da prensa, deve-se à influência que exerce sobre a resistência da madeira à compressão. Partículas com teor de umidade elevado requerem um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. Também a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel é facilitada com maiores teores de umidade do material. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas facilitando o aquecimento e a cura da resina. O mesmo autor relata que, por outro lado, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores. Segundo KELLY (1977) uma umidade excessiva interfere na reação química de polimerização

da resina, e isto ocorre especialmente nas camadas mais internas, pois, assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura da resina.

Segundo CLOUTIER (1998) o gradiente de densidade é determinado por vários fatores, entre os quais os mais importantes são: o tempo de fechamento da prensa e o teor de umidade das camadas superficiais do colchão. O impacto destes dois parâmetros no gradiente de densidade são descritos na Tabela 5. De modo geral, o conteúdo de umidade mais alto nas camadas superficiais, e o tempo de fechamento da prensa mais reduzido, acentua o gradiente de densidade.

TABELA 5 - EFEITO DO TEOR DE UMIDADE DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO COLCHÃO NA PRODUÇÃO DE OSB.

Teor de umidade das camadas superficiais	Vantagens	Desvantagens
Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Plasticização mais rápida da madeira; • Maior gradiente de densidade; • Melhores propriedades de flexão; • Necessidade de uma pressão mais baixa na prensagem do colchão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade mais baixa na camada interna; • Ligação interna mais baixa; • Riscos mais elevados de estouro no colchão.
Baixo	<ul style="list-style-type: none"> • Gradiente de densidade nivelado; • Melhor ligação interna; • Menores riscos de sopro ou estouro no colchão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de uma pressão mais elevada para a prensagem do colchão; • Superfície com maior aspereza; • Maior absorção de água.

Fonte: CLOUTIER (1998)

2.4.2.9 Tempo de fechamento da prensa

O tempo de fechamento da prensa é o tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada (MATOS, 1988).

Segundo KELLY (1997) o aquecimento das camadas superficiais ocorre rapidamente e permite a compressão das partículas destas camadas antes do aquecimento do interior (miolo). Deste modo não há uma boa distribuição da compressão através do material, provocando um aumento no gradiente vertical de densidade. O mesmo autor relata que um tempo muito longo de fechamento faz com que a resina nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e causando pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência. MATOS (1988) afirma que, as propriedades de resistência de painéis Waferboard (MOR, MOE e ligação interna) estão estreitamente relacionadas ao tempo de fechamento de prensa e gradiente vertical de densidade.

2.4.2.10 Tempo de prensagem

Quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até a abertura da prensa (MATOS, 1988).

Segundo IWAKIRI (1989) o tempo mínimo de prensagem depende principalmente da eficiência na transferência de calor, a espessura do painel, temperatura de prensagem e distribuição da umidade no colchão.

Segundo MATOS (1988) reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis pois implicam em uma maior produção por unidade de tempo, bem como provoca uma redução no consumo de energia. O mesmo autor, referindo-se à literatura, relata que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

Para painéis com 15mm de espessura, produzidos experimentalmente com madeiras do gênero *Pinus*, o tempo de prensagem de 8 minutos tem apresentado resultados satisfatórios (BRITO, 1984; MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989).

Segundo CLOUTIER (1998) na indústria canadense de OSB o tempo de prensagem varia de 3 a 6 minutos, dependendo da espessura do painel.

2.4.2.11 Temperatura de prensagem

A principal função da temperatura da prensa na produção de painéis de partículas é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira (MATOS, 1988).

IWAKIRI (1989) encontrou referências de que quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática.

BRITO (1984), KEINERT Jr (1988), MATOS (1988) e IWAKIRI (1989), obtiveram painéis de boa qualidade para espécies do gênero *Pinus*, utilizando temperatura de prensagem de 160 a 180°C, com resina fenólica.

Segundo CLOUTIER (1998) as indústrias no Canadá utilizam temperatura de prensagem de 200 °C a 220 °C, dependendo da espessura do painel.

2.4.2.12 Pressão específica

As principais funções da pressão aplicada sobre as partículas são a consolidação do colchão na espessura final desejada e assegurar o contato adequado entre as partículas. BRITO (1984), KEINERT Jr (1988), MATOS (1988) e IWAKIRI (1989), obtiveram painéis de boa qualidade para espécies do gênero *Pinus*, utilizando pressão específica variando de 35 a 40kgf/cm² e resina fenólica.

2.5 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS OSB

2.5.1 Módulo de elasticidade

MALONEY (1977) define o modulo de elasticidade (MOE), como a elasticidade de um material até o limite de proporcionalidade. Já IWAKIRI (1989) menciona que o MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço.

O MOE é afetado pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis, dentre as quais, a densidade dos painéis, composição das camadas face/miolo, conteúdo de resina, razão de compactação, conteúdo de parafina e dimensões das partículas refletida no índice de esbeltez (VITAL et al, 1974; KELLY, 1977; MATOS, 1988).

2.5.2 Módulo de ruptura

BRITO (1984) e MALONEY (1977) definem o modulo de ruptura (MOR) como o limite do material, submetido ao esforço máximo até a ruptura. IWAKIRI (1989) ressalta que o MOR é uma propriedade muito importante, que determina a aplicabilidade dos painéis de partículas de madeira para uso estrutural.

2.5.3 Compressão paralela

O teste de compressão paralela em painéis OSB consiste na aplicação da tensão paralela ou perpendicular às partículas das faces, dependendo da direção do corpo de prova em relação as camadas externas dos painéis. A resistência a este esforço também é influenciada pela linha de cola das partículas e pela tendência de ruptura por cisalhamento.

2.5.4 Ligação interna

O ensaio de ligação interna mede o grau de adesão entre as partículas, em amostras submetidas aos esforços de tração perpendicular. A ruptura ocorre normalmente na porção média da sua espessura, a qual, corresponde a região de menor densidade e ligação entre as partículas (IWAKIRI, 1989).

Em geral, a literatura menciona que, com o aumento da densidade dos painéis, do conteúdo de resina, do tempo e da temperatura de prensagem, ocorre um aumento na resistência da ligação interna. No entanto, existem algumas controvérsias em relação ao efeito de determinadas variáveis de processamento na ligação interna. Por exemplo, VITAL et al (1974) não encontraram correlação definida entre ligação interna e densidade dos painéis. A adição de parafina é muito importante para a estabilidade dimensional dos painéis, no entanto, promove segundo WINISTORFER et al. (1992) uma redução na ligação interna dos painéis OSB.

2.5.5 Absorção de água e inchamento em espessura

Absorção de água e inchamento em espessura são, respectivamente, a expressão percentual da quantidade de água absorvida e inchamento em espessura, quando uma amostra condicionada a 20 °C e 65% de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 2 e 24 horas (Norma ASTM). Segundo BRITO (1995) o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, nível de resina, nível de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem. No entanto, também para esta propriedade existem algumas controvérsias entre as pesquisas já realizadas. Como exemplo, a maioria das citações relata a existência de uma relação positiva entre densidade dos painéis e IE/AA. Em contrapartida, VITAL et al. (1974) concluíram que painéis com maior razão de compactação (1,6), apresentaram menor absorção de água que painéis com menor razão de compactação (1,2). Eles atribuíram a redução na porosidade e

aumento na quantidade de material lenhoso, como prováveis causas da menor taxa de absorção de água.

2.5.6 Taxa de não retorno em espessura

Segundo IWAKIRI (1989) a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa, em que ocorre primeiro o inchamento e depois a contração, resulta em um inchamento residual devido a liberação das tensões de compressão impostas aos painéis, e é denominada de taxa de não retorno em espessura (TNRE). Este efeito pode ser reduzido ou eliminado através de tratamentos especiais como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora estes métodos tenham aplicações limitadas.

KELLY (1977) relata que CHILD (1956) observou uma relação direta entre o inchamento residual e a densidade do painel (aglomerado convencional), e relação inversa com o teor de resina. O autor afirma também que a largura das partículas não apresenta qualquer influência sobre o inchamento residual.

No estudo realizado por MATOS (1988), para painéis Waferboard produzidos com *Pinus taeda*, a diferentes condições de prensagem, foi observada uma forte influência da umidade das partículas e presença de parafina sobre o inchamento residual. O autor relata que com a aplicação de 1% de parafina, o inchamento residual é reduzido.

2.5.7 Expansão linear

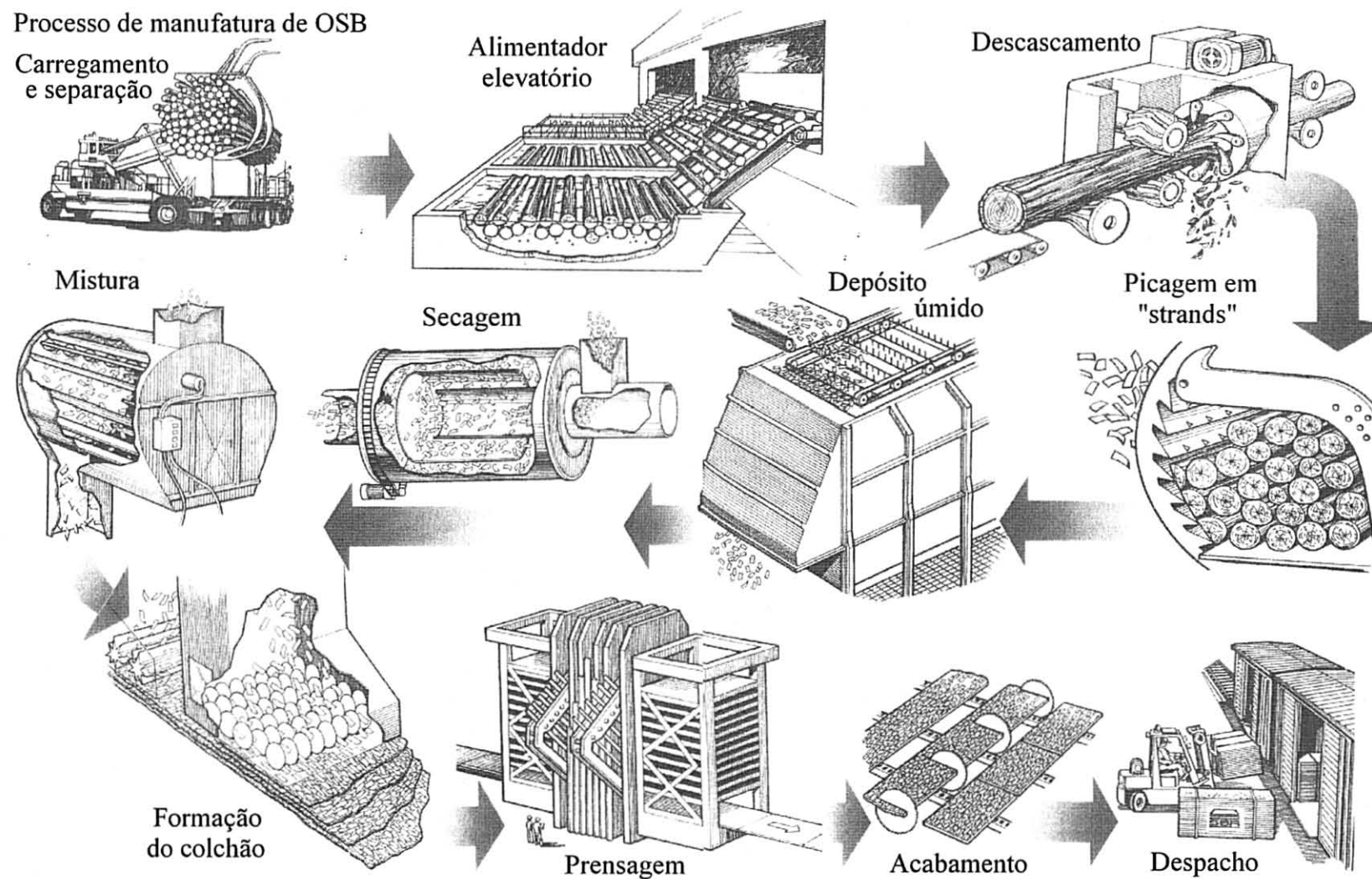
Expansão linear é a expressão percentual do valor expandido, quando uma amostra condicionada a 20 °C e 65% de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 24 horas. Os valores obtidos para painéis de partículas de madeira, são menores em comparação aos valores da madeira maciça, em função da diminuição da anisotropia. Na literatura encontram-se resultados contrastantes entre os pesquisadores para definir a relação da expansão linear com algumas variáveis de processamento, tais como densidade dos painéis, nível de resina e parafina, razão de compactação.

Nesse sentido, BRITO (1984) após revisar o assunto concluiu que não há uma relação clara entre as variáveis mencionadas anteriormente e a expansão linear.

2.6 PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO INDUSTRIAL E QUALIDADE DOS PAINÉIS OSB

Segundo CLOUTIER (1998), o processo industrial de produção de OSB pode ser dividido em 10 etapas: 1) Toragem e condicionamento das toras; 2) Descascamento das toras; 3) Geração das partículas strand; 4) Armazenamento das partículas úmidas; 5) Secagem das partículas; 6) Classificação por peneiramento; 7) Mistura dos componentes do colchão; 8) Formação do colchão; 9) Prensagem à quente; e 10) Acabamentos e esquadrejamento final (Figura 7).

FIGURA 7 – PROCESSO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE OSB (FONTE: ORIENTED, 1998).



Na Tabela 6 encontram-se os parâmetros médios de produção de OSB praticados na indústria canadense.

TABELA 6 – PARÂMETROS MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE OSB NA INDÚSTRIA CANADENSE

PARÂMETROS	FAIXA DE VALORES
Espécies de madeiras	Álamo (Aspen - <i>Populus tremuloides</i>); Betula (White birch - <i>Betula papyrifera</i>)
Geometria das partículas strands da camada superficial	Largura: 25 mm; Comprimento: 120 a 150 mm; Espessura: 0,5 mm.
Geometria das partículas strands da camada interna	Largura: 19 a 25 mm; Comprimento: 100 a 120 mm; Espessura: 0,5 a 0,8 mm.
Proporção das camadas externa - interna	40:60 a 60:40 baseado na percentagem através do peso no fornecimento da mistura partícula-adesivo na formação do colchão
Tipo de adesivo	Fenol-formaldeído na forma líquida ou em pó, ou difenil metano di-isocianato
Conteúdo de adesivo para as camadas externa e interna	Resinas FF em pó: 2 a 3 % (baseado em peso seco das partículas); Resinas FF líquidas: 3 a 6 % de FF sólido (baseado em peso seco das partículas).
Conteúdo de parafina	0,5 a 1,5 % (baseado no peso seco das partículas).
Conteúdo de umidade do colchão	Para resina FF em pó: camada externa → 5 a 7 %; camada interna → 3 a 5 %; Para resina FF líquida: camada externa → 6 a 8 %; camada interna → 4 a 6 %.
Temperatura de prensagem	200 a 220°C
Tempo de prensagem	3 a 6 min dependendo da espessura da chapa.
Densidade da chapa	630 a 670 kg/m ³

Fonte: ORIENTED (1998)

No Canadá para controle de qualidade dos painéis são utilizadas duas normas da Canadian Standards Association a CSA O437.0 e a CSA O325.0. Já nos EUA é utilizada a norma US PS 2-92 similar a CSA O325.0. As principais propriedades físicas e mecânicas definidas na norma CSA O437.0 são

apresentadas na Tabela 7. As propriedades mínimas de flexão estática são definidas para as direções paralela e perpendicular ao comprimento dos painéis. As diferenças observadas entre as duas direções para as categorias O-1 e O-2 é devido ao grau de orientação das partículas nos painéis. Deve ser ressaltado que as propriedades de flexão obtidas no sentido paralelo ao comprimento dos painéis, são superiores àquelas definidas para a categoria R-1, em que as partículas são dispostas de forma aleatória.

TABELA 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO OSB DEFINIDO NA NORMA CSA O437-0.

Propriedades	*O-2	*O-1	**R-1
Chapa seca pronta para expedição:			
• modulo de ruptura paralelo (kgf/cm ²)	290	234	172
• modulo de ruptura perpendicular (kgf/cm ²)	124	96	172
• modulo de elasticidade paralelo (kgf/cm ²)	55000	45000	31000
• modulo de elasticidade perpendicular (kgf/cm ²)	15000	13000	31000
• ligação interna (kgf/cm ²).	3,45	3,45	3,45
Após exposição à umidade:			
• modulo de ruptura paralelo (kgf/cm ²) (após duas horas de fervura em água)	145	117	86
• modulo de ruptura perpendicular (kgf/cm ²) (após duas horas de fervura em água)	62	48	86
• aumento em espessura após duas horas de imersão em água:			
➤ espessura abaixo de 12,7 mm	15 %	15 %	15 %
➤ espessura acima de 12,7 mm	10 %	10 %	10 %
• Expansão linear (estado seco em estufa a saturado)			
➤ paralelo	0,35 %	0,35 %	0,40 %
➤ perpendicular	0,50 %	0,50 %	0,40 %

Fonte : Adaptado da CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (1993) *Categoria O: orientado (OSB); **Categoria R: aleatório (Waferboard).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA PRIMA

As espécies utilizadas nesta pesquisa foram procedentes de um reflorestamento localizado na fazenda Moquen (Figura 8) de propriedade da Pisa Florestal (Figuras 8 e 9). Seis espécies do gênero *Pinus*, com 11 anos de idade, apresentadas na tabela 8, foram selecionadas para serem submetidas a ensaios tecnológicos, com o propósito de se avaliar a potencialidade e uso, de cada uma delas, bem como o estudo de outras variáveis de processamento na manufatura de painéis OSB (oriented strand board).

TABELA 8 – RELAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

EFC ¹	CÓDIGO ²	ESPÉCIES
8629	SP1	<i>Pinus taeda</i> Tenore
8628	SP2	<i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore
8626	SP3	<i>Pinus tecunumanii</i> T.E. Piedra & J.P. Perry
8627	SP4	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Morelet
8625	SP5	<i>Pinus oocarpa</i> Schied
8624	SP6	<i>Pinus chiapensis</i> Andresen

1 – N° do registro no Herbário do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR; 2 – Identificação das espécies utilizadas

FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E BIOCLIMÁTICA DA FAZENDA MOQUÊM.

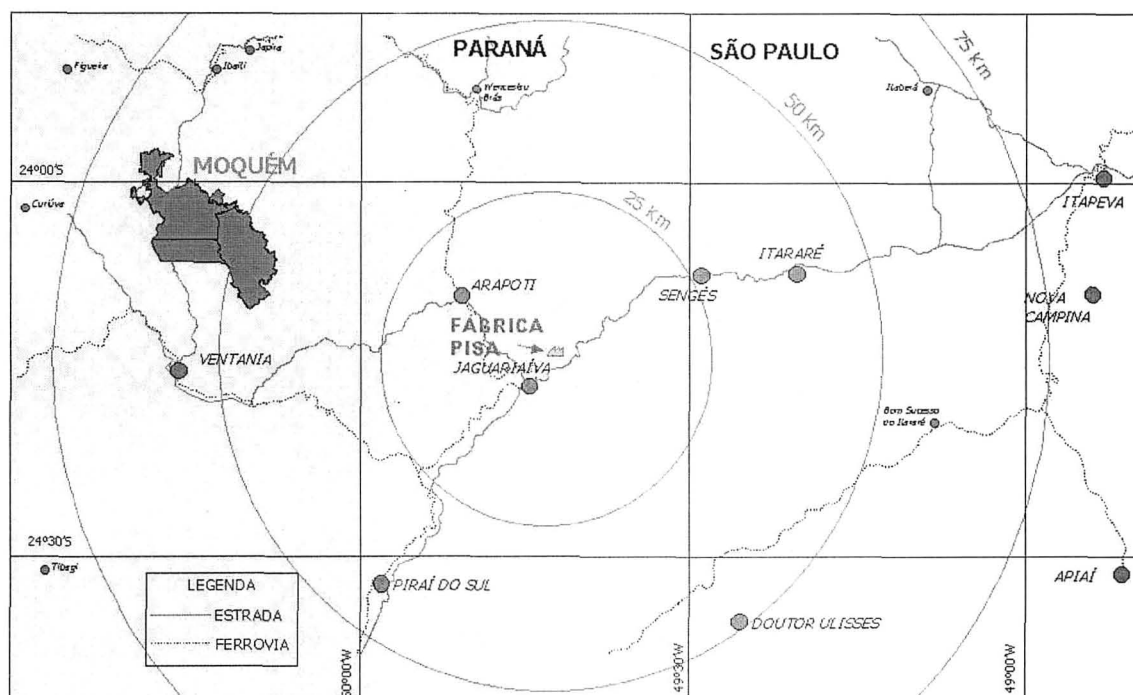
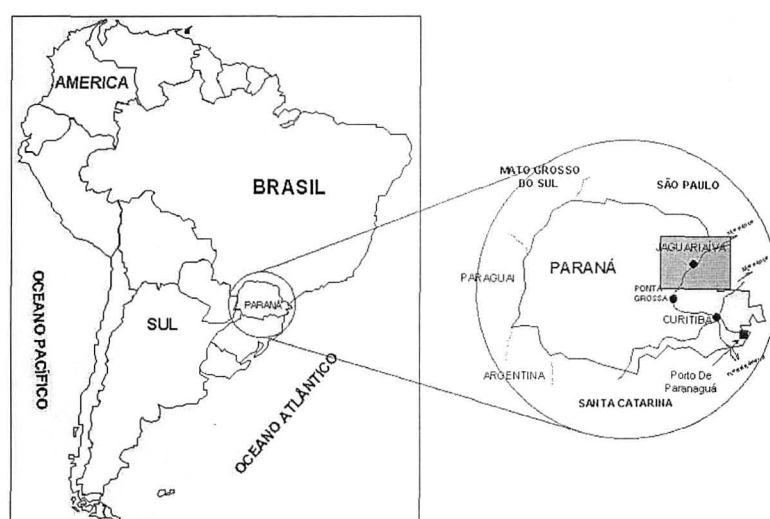
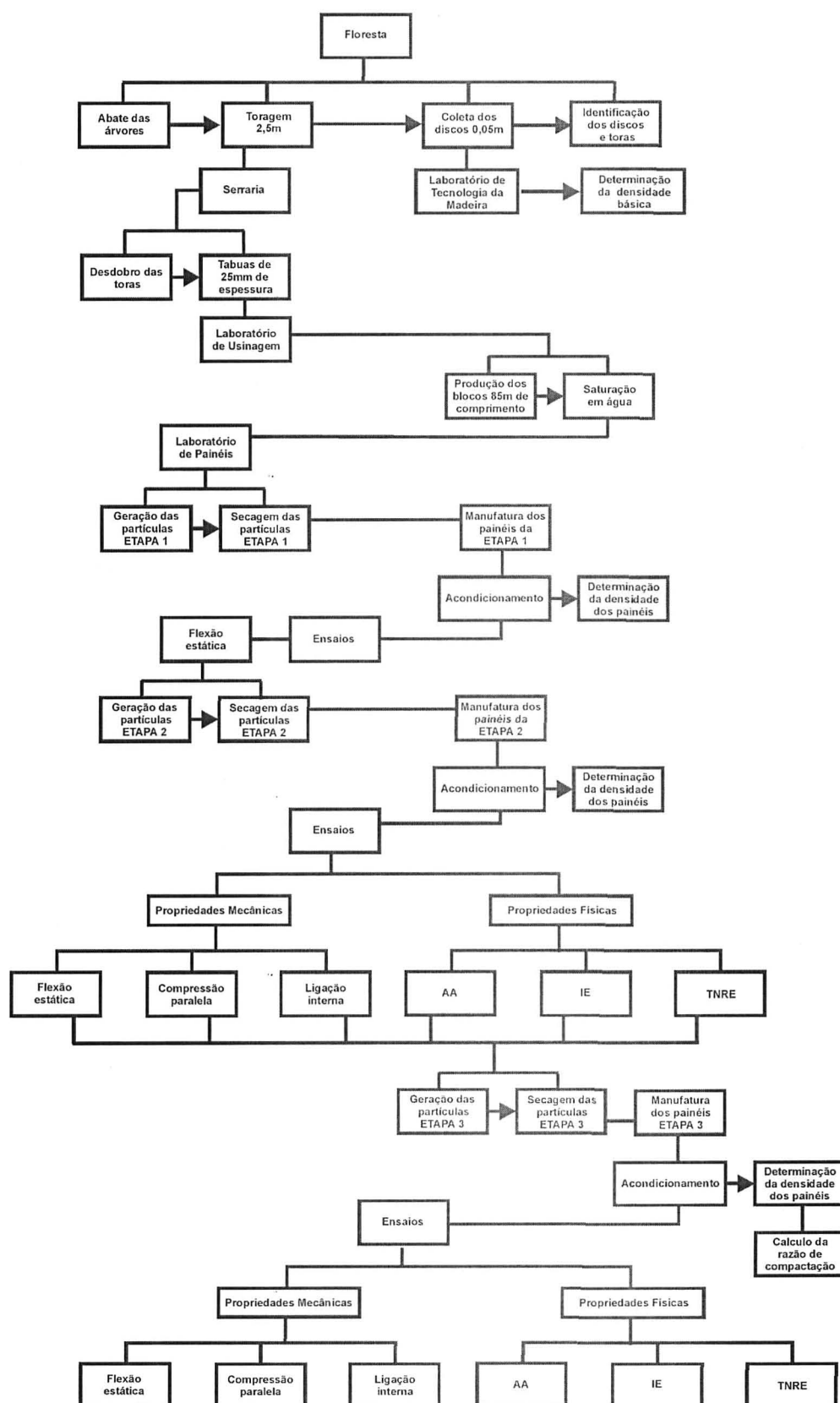


FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA PISA FLORESTAL S.A.



A Figura 10 mostra um esquema geral das atividades realizadas neste trabalho.

FIGURA 10 – FLUXOGRAMA GERAL DOS TRABALHOS DE CAMPO E LABORATÓRIO REALIZADOS NESTA TESE.



3.1.1 Coleta do material

Foram coletadas, aleatoriamente, seis árvores de cada espécie, com exceção do *Pinus taeda*, que foram coletadas 5 árvores. Todas as árvores estavam com 11 anos de idade na época da coleta (setembro de 1999). A Tabela 9 apresenta a circunferência a altura do peito (CAP) e a altura total (HT) por espécie.

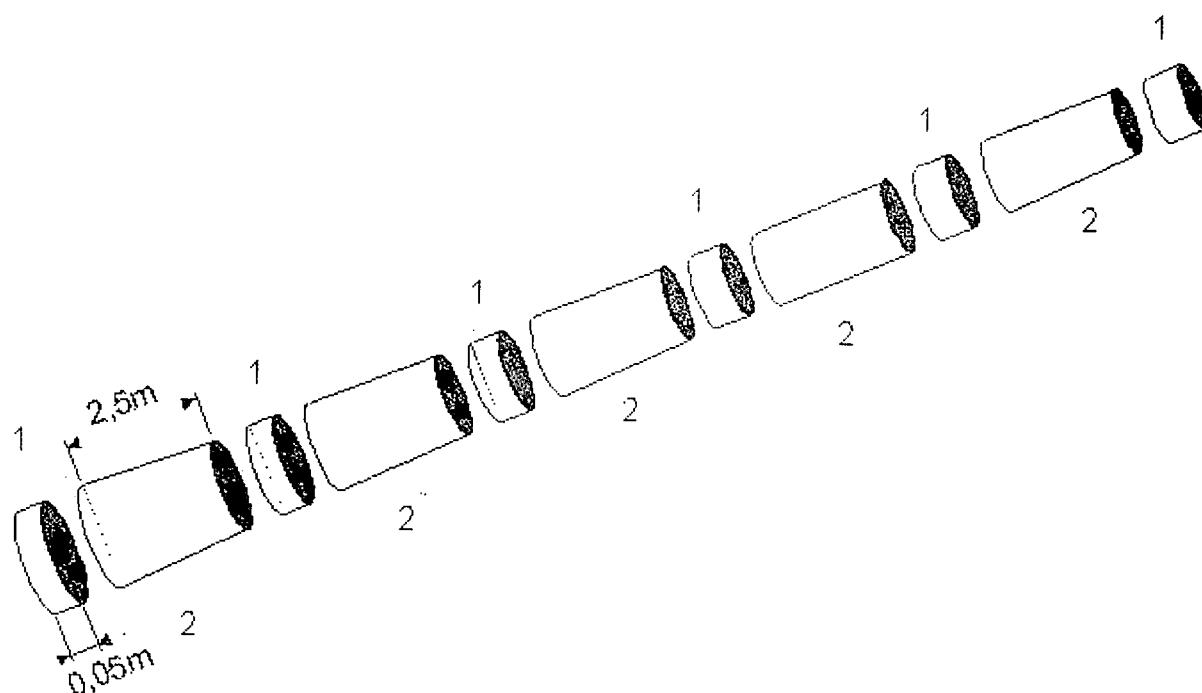
TABELA 9 – ALTURA TOTAL (HT) E CAP DAS ÁRVORES COLETADAS POR ESPÉCIE ESTUDADA.

ESPÉCIE	ÁRVORE	CAP (cm)	HT (m)
<i>Pinus taeda</i>	1	106	16,00
	2	91	14,70
	3	84	15,20
	4	87	15,90
	5	83	14,60
<i>Pinus maximinoi</i>	1	104	23,00
	2	99	22,90
	3	90	23,20
	4	87	21,20
	5	81	20,50
	6	81	22,20
<i>Pinus tecunumanii</i>	1	105	21,00
	2	120	23,20
	3	100	20,90
	4	111	22,10
	5	104	18,45
	6	102	21,90
<i>Pinus caribaea</i>	1	124	17,20
	2	92	17,30
	3	107	20,80
	4	128	20,40
	5	107	19,90
	6	95	17,70
<i>Pinus oocarpa</i>	1	94	19,80
	2	85	23,30
	3	98	21,70
	4	111	19,90
	5	92	22,60
	6	106	22,40
<i>Pinus chiapensis</i>	1	103	21,50
	2	88	18,70
	3	103	20,00
	4	97	24,70
	5	113	24,30
	6	98	25,00

3.1.2 Determinação da densidade básica da madeira

Foram retirados discos de 5cm de espessura a cada 2,5m, até a altura correspondente a um diâmetro de 8cm. Os discos foram utilizados para determinação da densidade básica da madeira das espécies estudadas, pelo método de imersão em água. Por outro lado as toras de 2,5m foram utilizadas para geração das partículas strands, como ilustrado na figura 11.

FIGURA 11 – DESENHO ESQUEMÁTICO REPRESENTANDO O CORTE DAS TORAS.



1 – Seções extraídas para realização das análises físicas e químicas;

2 – Toras destinadas à produção de partículas.

3.1.3 Análises químicas da madeira

As análise químicas também foram realizadas com material retirado dos discos ilustrados na Figura 11. Amostras de cada espécie foram preparadas para a determinação das substâncias químicas presentes na madeira. Assim, utilizando-se as normas técnicas ABNT (1998) E TAPPI (1994) determinou-se os seguintes componentes da madeira:

- teor de extrativos totais – NBR 7987 T204 om-88;

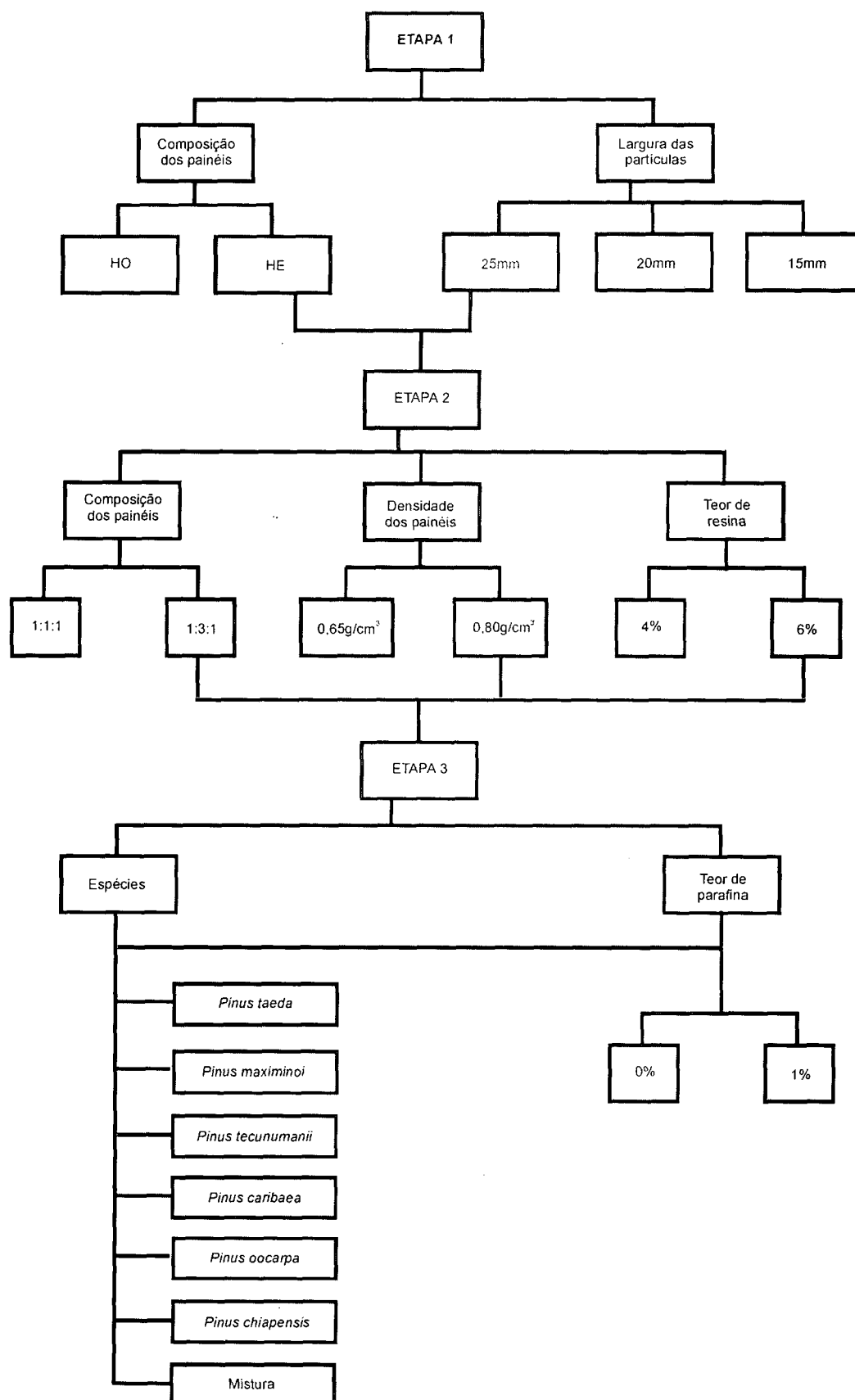
- teor de solúveis em água fria e quente – NBR 7988;
- teor de solúveis em NaOH A 1% - NBR 7990;
- teor de solúveis em álcool+benzeno – NBR 7991;
- teor de lignina – T222 om-88;
- teor de cinzas – T211 om-93.

3.2 MANUFATURA DOS PAINÉIS

3.2.1 Plano experimental

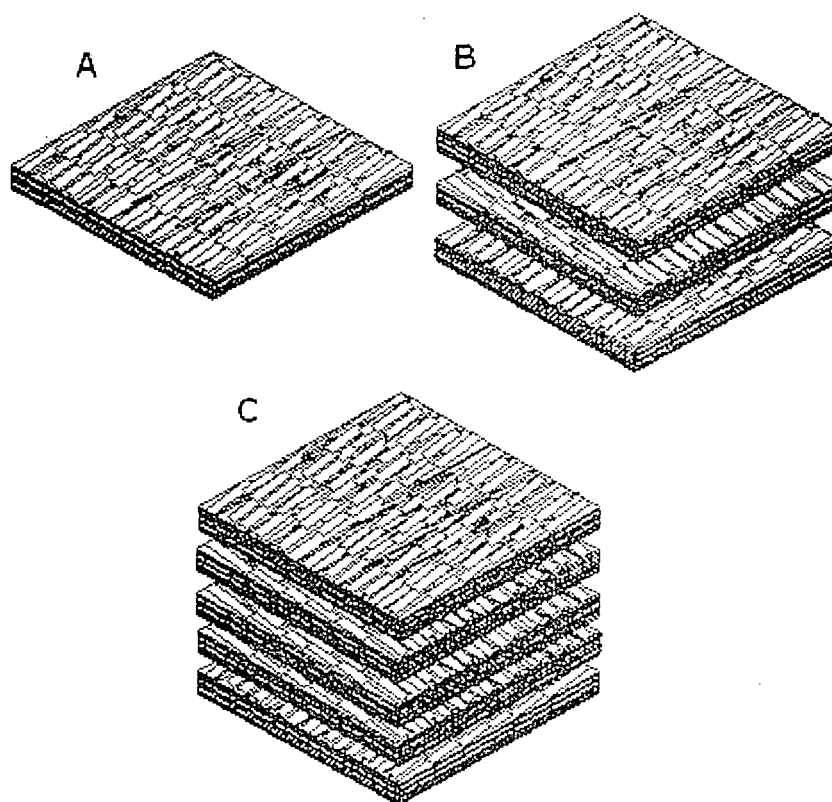
A pesquisa foi realizada de acordo com o delineamento experimental apresentado na Figura 12.

FIGURA 12 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NESTA PESQUISA.



Os três tipos de composição dos painéis utilizados na manufatura dos painéis OSB estão ilustrados na Figura 13.

FIGURA 13 – TIPOS DE COMPOSIÇÕES DE PAINÉIS.



A – Painel homogêneo unidirecional de camada única (HO);

B – Painel heterogêneo de três camadas com miolo perpendicular as faces com relação face/miolo/face de 1:1:1;

C – Painel heterogêneo de três camadas com miolo perpendicular as faces com relação face/miolo/face de 1:3:1.

3.2.1.1 Plano experimental da etapa 1

Nesta etapa foram produzidos dezoito painéis, sendo três por tratamento, com as dimensões nominais de 480x480x15mm e massa específica nominal de 0,65 g/cm³, resultado da interação de três larguras de partículas e dois tipos de painéis. Os painéis homogêneos (HO) foram compostos de apenas uma camada com todas as partículas orientadas no mesmo sentido. Os

painéis heterogêneos (HE) foram compostos de três camadas, sendo que a camada interna foi orientada no sentido perpendicular às camadas da face, em proporção de 1:1:1, conforme apresentado na Tabela 10. Os painéis foram produzidos com partículas de *Pinus taeda*.

A resina utilizada foi a fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos de 49%, pH = 12 e viscosidade de 500 cp. Foram aplicados 6% de resina base peso seco das partículas. Após a formação, o colchão foi imediatamente conduzido à prensagem, com temperatura de 180 °C, pressão específica de 40 kgf/cm² e tempo de prensagem de 8 minutos.

TABELA 10 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 1.

TRATAMENTO	LP (mm)	CP	NP	NCP⊥	NCP//
01	25	HO	03	13	13
02	25	HE	03	13	13
03	20	HO	03	13	13
04	20	HE	03	13	13
05	15	HO	03	13	13
06	15	HE	03	13	13

LP – largura das partículas; HO – painéis de camada única orientada; HE – painéis de três camadas/faces externas paralelas e centro perpendicular; NP – número de painéis; NCP⊥ - número de corpos de prova perpendicular e NCP// - número de corpos de prova paralelo.

3.2.1.2 Plano experimental da etapa 2

Nesta etapa foram produzidos trinta e dois painéis no total, sendo quatro painéis por tratamento com as dimensões nominais de 480x480x15mm. Os painéis foram produzidos com partículas de *Pinus taeda*.

A resina utilizada foi a fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos de 49%, pH = 12 e viscosidade de 500 cp. Foram aplicados 4 e 6% de resina base peso seco das partículas. Após a formação, o colchão foi conduzido à prensagem, com temperatura de 180 °C , pressão específica de 40 kgf/cm² e tempo de prensagem de 8 minutos. Os painéis foram produzidos com densidades de 0,65

e $0,80\text{g/cm}^3$, composições face/miolo/face de 1:1:1 e 1:3:1 e largura das partículas de 25mm.

A Tabela 11 mostra o delineamento experimental utilizado na etapa 2 do trabalho.

TABELA 11 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 2.

TRATAMENTO	CP	TR (%)	DP(g/cm^3)	NP
1	1:1:1	6	0,65	04
2	1:1:1	6	0,80	04
3	1:1:1	4	0,65	04
4	1:1:1	4	0,80	04
5	1:3:1	6	0,65	04
6	1:3:1	6	0,80	04
7	1:3:1	4	0,65	04
8	1:3:1	4	0,80	04

CP – Composição dos painéis; TR – Teor de resina; DP – Densidade dos painéis e NP – número de painéis.

3.2.1.3 Plano experimental da etapa 3

Nesta etapa foram produzidos trinta e nove painéis no total, sendo três painéis por tratamento com as dimensões nominais de 480x480x15mm. O tratamento 1 refere-se ao melhor tratamento da etapa 2.

A resina utilizada foi a fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos de 49%, pH = 12 e viscosidade de 500 cp. Foram aplicados 6% de resina base peso seco das partículas. Após a formação o colchão foi conduzido à prensagem, com temperatura de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, pressão específica de 40 kgf/cm^2 e tempo de prensagem de 8 minutos. Foram produzidos painéis com as seis espécies de Pinus, além da mistura destes, e com a inclusão de 1% de parafina. A densidade dos painéis nesta etapa foi de $0,80\text{g/cm}^3$.

A Tabela 12 mostra o delineamento experimental utilizado na etapa 3 do trabalho.

TABELA 12. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NA ETAPA 3.

T	SP	TP (%)	NP
1**	<i>P. taeda</i>	-	04
2	<i>P. maximinoi</i>	-	03
3	<i>P. tecunumanii</i>	-	03
4	<i>P. caribaea</i>	-	03
5	<i>P. oocarpa</i>	-	03
6	<i>P. chiapensis</i>	-	03
7	Mistura*	-	03
8	<i>P. taeda</i>	1	03
9	<i>P. maximinoi</i>	1	03
10	<i>P. tecunumanii</i>	1	03
11	<i>P. caribaea</i>	1	03
12	<i>P. oocarpa</i>	1	03
13	<i>P. chiapensis</i>	1	03
14	Mistura*	1	03

*Mistura das seis espécies estudadas; ** Tratamento selecionado da etapa 2 ; T – Tratamento; SP – espécie; TP – Teor de parafina e NP – Número de painéis.

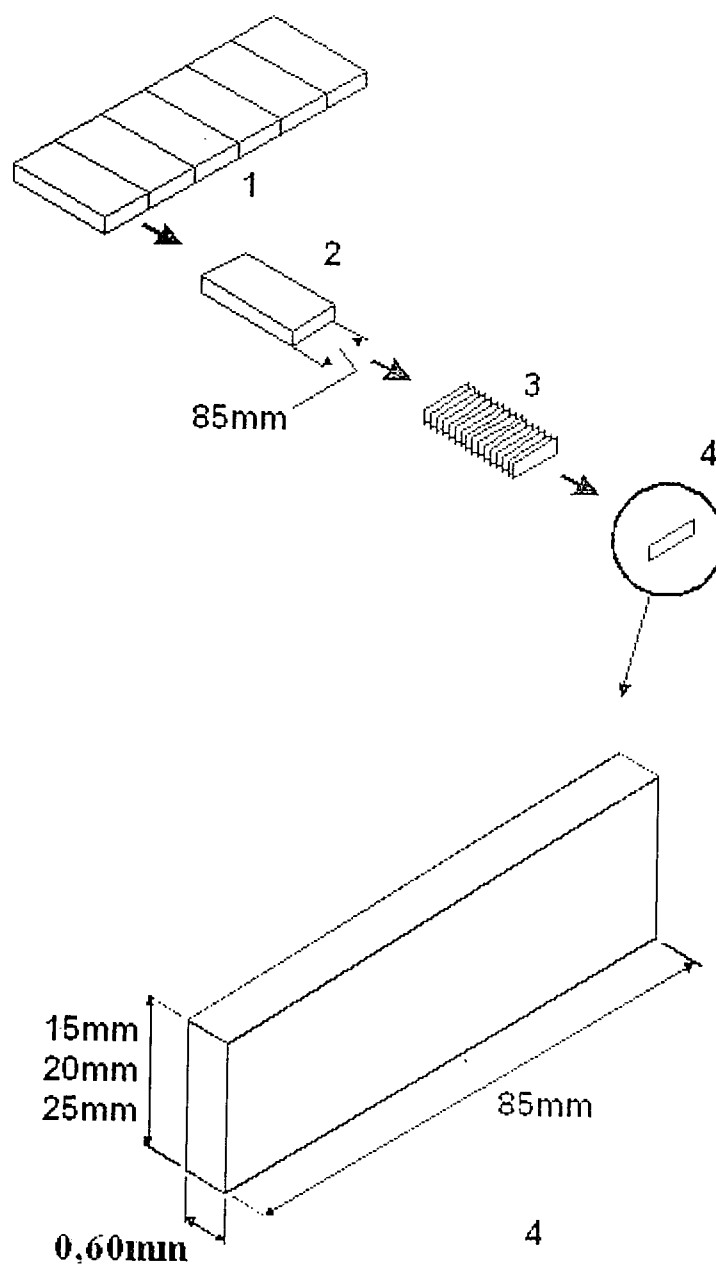
3.2.2 Obtenção das partículas

As toras de 2,5m de comprimento obtidas no campo, foram conduzidas para a Serraria da UFPR, localizada na Fazenda Canguiri, onde foram desdobradas em tábuas de 25mm de espessura. Estas tábuas foram levadas ao laboratório de usinagem, onde foram seccionadas em peças de 85mm de largura, que definiu o comprimento das partículas. Na etapa 1 onde foram testadas também as larguras 20 e 15mm, as tábuas foram aplainadas até que as mesmas atingissem estas espessuras. As espessuras das tábuas corresponderam a largura das partículas.

As partículas foram geradas em um picador de disco, onde as facas foram ajustadas para gerarem partículas com espessuras em torno de 0,60mm.

A Figura 14 ilustra o processo de geração das partículas strands.

FIGURA 14 – PROCESSO DE GERAÇÃO DAS PARTÍCULAS STRAND.



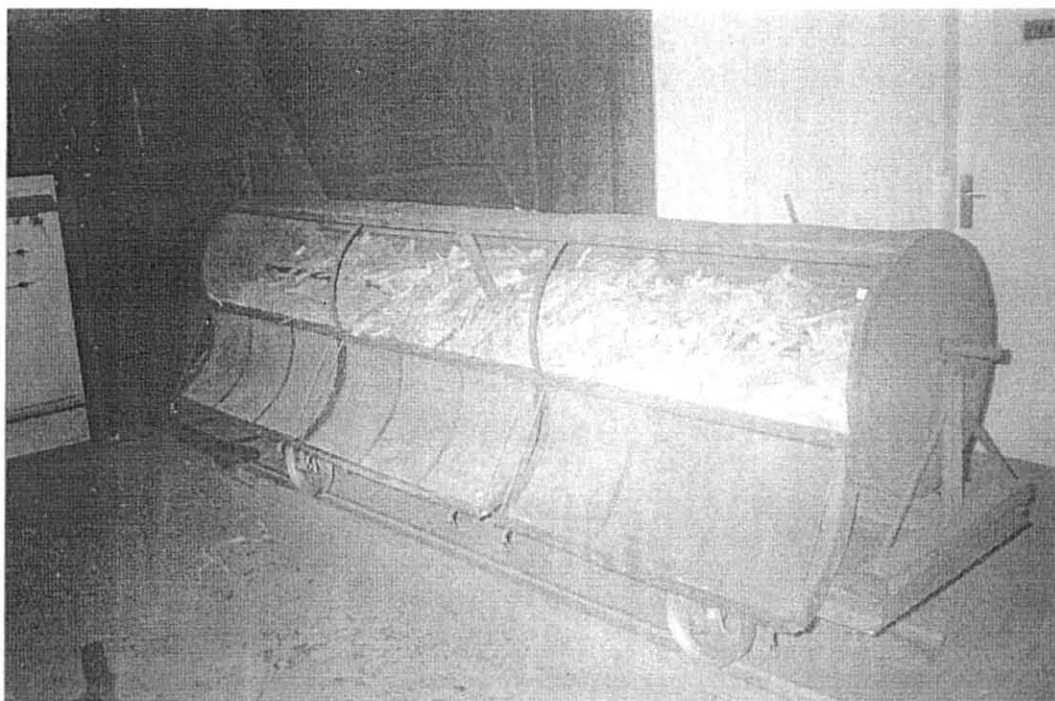
- 1 – Tábua;
- 2 – Bloco;
- 3 – Picagem e
- 4 – Partícula gerada

3.2.3 Secagem das partículas

As partículas foram secas até o conteúdo de umidade de 3-4% base peso seco. Neste processo foi utilizada uma estufa experimental elétrica, com controlador automático das condições de secagem, com capacidade de 1m³ de madeira serrada. As partículas foram secas dentro de uma grade metálica em forma de cilindro (Figura 15), desenvolvida especialmente para este propósito. Este procedimento foi adotado para a secagem das partículas de *Pinus taeda*, que foi a espécie utilizada para manufaturas dos painéis das etapas 1 e 2.

As partículas das demais espécies, utilizadas para a manufatura dos painéis da etapa 3 (final), foram secas em uma estufa de secagem com ventilação forçada. Nesta operação foram utilizadas caixas confeccionadas com tela para facilitar a circulação de ar, e promover a secagem.

FIGURA 15 – SECAGEM DAS PARTÍCULAS “STRANDS”.



3.2.4 Aplicação da resina e da parafina

A resina utilizada foi a fenol-formaldeído (CASCOPHEN HL-2080). Na Tabela 13 estão apresentados os dados do certificado de análise emitido pela empresa produtora desta resina. Com relação à emulsão de parafina (MAXCER 77), na Tabela 14 é apresentada a descrição das suas características.

TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DA RESINA.

ITENS	MET. DE ENSAIO	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO
1	MMA-9101-02	LVV	C.E.
2	MMA-4011-04	400 à 800 Cp	500 Cp
3	MMA-1601-04	11,50 à 13,00	12,43
4	MMA-1108-04	8 à 11 minutos	8 minutos
5	MMA-1507-00	6,90 à 7,80%	7,63
6	MMA-1001-04	47,5 à 50,5%	49,4%
7	MMA-4501-03	1,4700 à 1,4800	1,4800

1 – Aspecto do produto; 2 – Viscosidade LVF 2/12/25°C; 3 – pH à 25°C; 4 – tempo de geleificação à 121 °C; 5 – Teor de soda livre (%); 6 – Teor de sólidos (%); 7 – Índice de refração; LVV – Líquido viscoso vermelho; C.E. – Conforme especificado e Cp – Centipoise

TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DA EMULSÃO DE PARAFINA.

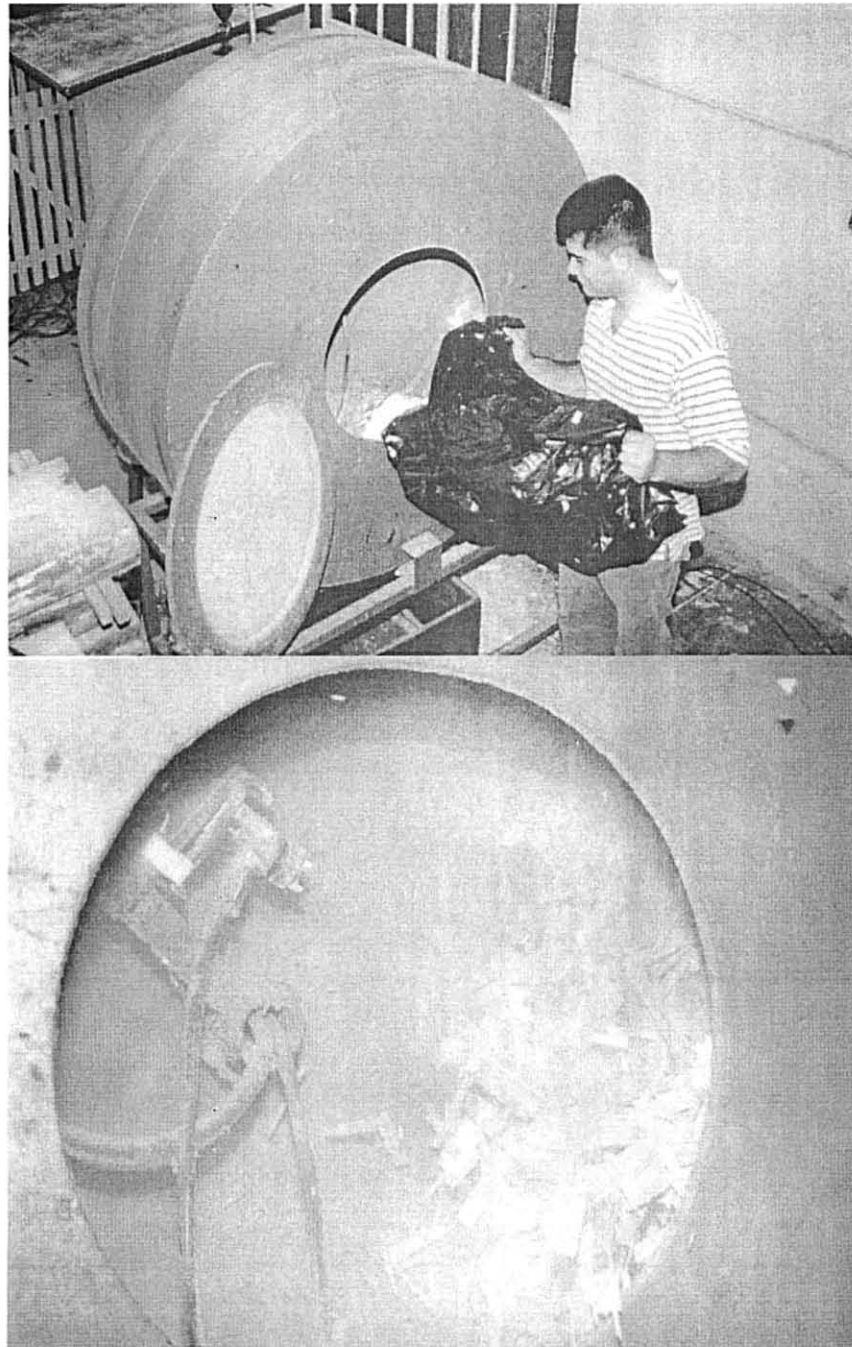
ITENS	MET. DE ENSAIO	REFERÊNCIA	RESULTADO
1	MAPA 06	ACTS	60%
2	MAPA 07	NBR 7353	10
3	MAPA 08	NBR 5849	18 Seg.
4	MAPA 16	ACTS	0,93 g/cm ³
5	MAPA 17	ASTM D 721	0,31

1 – Teor de sólidos; 2 – pH; 3 – Viscosidade; 4 – densidade e 5 – Teor de óleos

A resina e a parafina foram aplicadas nas partículas em um encolador tipo tambor giratório dotado de um copo graduado. Foram utilizadas duas pistolas na operação. Primeiramente aplicou-se a resina, em seguida foi feita

a troca da pistola para aplicação da parafina. A Figura 16 ilustra alguns detalhes do processo de aplicação da resina e da parafina.

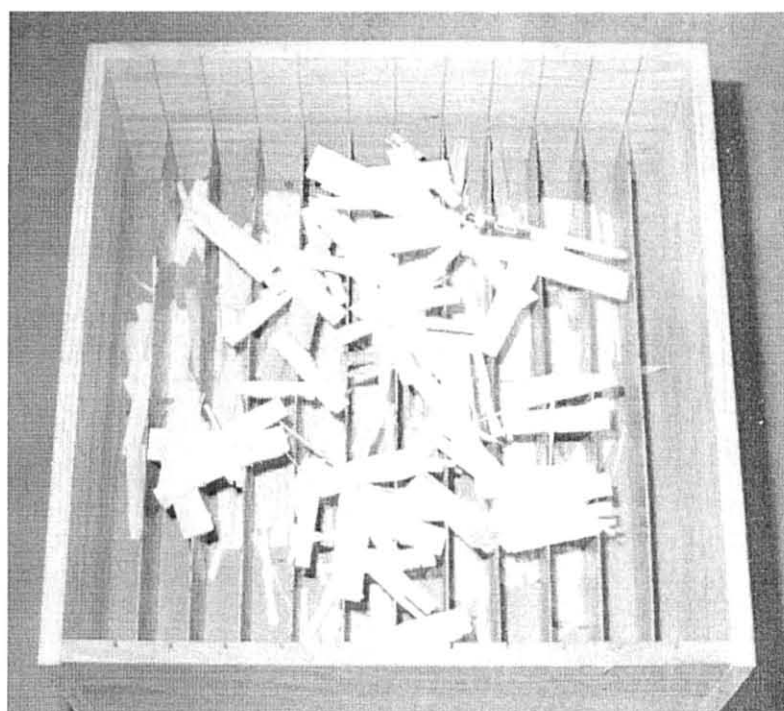
FIGURA 16 – PROCESSO DE APLICAÇÃO DA RESINA E DA PARAFINA ILUSTRANDO O CARREGAMENTO DA ENCOLADEIRA E O SISTEMA DE ASPERSÃO POR AR COMPRIMIDO COM PISTOLA PNEUMÁTICA.



3.2.5 Orientação das partículas

Para produção dos painéis OSB foi projetado e construído um orientador de partículas (Figura 17) utilizando-se tábuas de madeira, com dimensões de 480mm de comprimento e largura e 200mm de altura, subdivididas em doze partes iguais de 40mm, utilizando-se lâminas de ferro. Este aparato foi desenvolvido, baseando-se nos trabalhos de SOBRAL FILHO (1979) e ZHOW (1990).

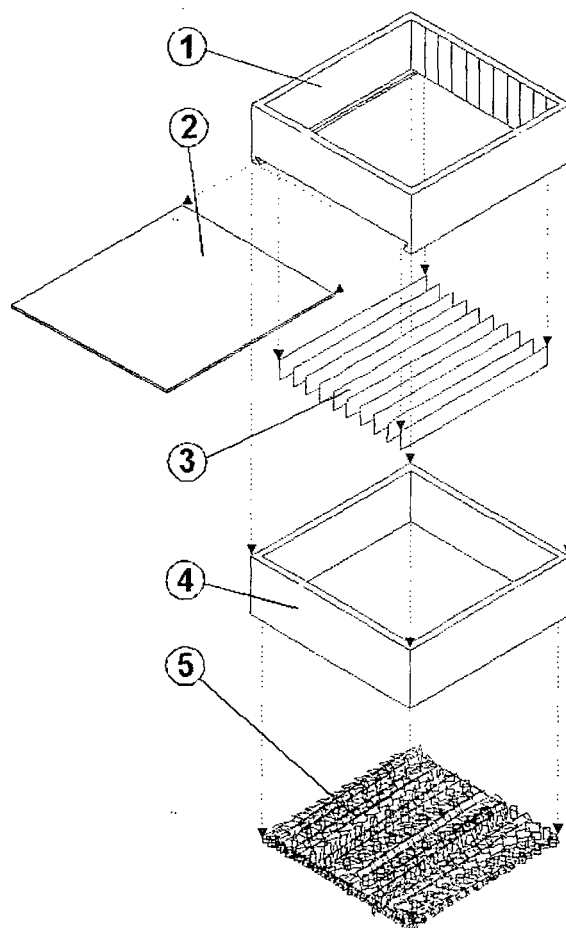
FIGURA 17 – MODELO DE ORIENTADOR DE PARTÍCULAS.



3.2.6 Formação do colchão

O orientador de partículas foi fixado sobre uma caixa formadora de iguais dimensões, onde foi formado o colchão já com as partículas orientadas, ressaltando-se que as partículas tiveram uma queda de 280mm. O sistema é ilustrado na Figura 18.

FIGURA 18 – PROJETO DO ORIENTADOR DE PARTÍCULAS E CAIXA FORMADORA UTILIZADOS NA FORMAÇÃO DO COLCHÃO.

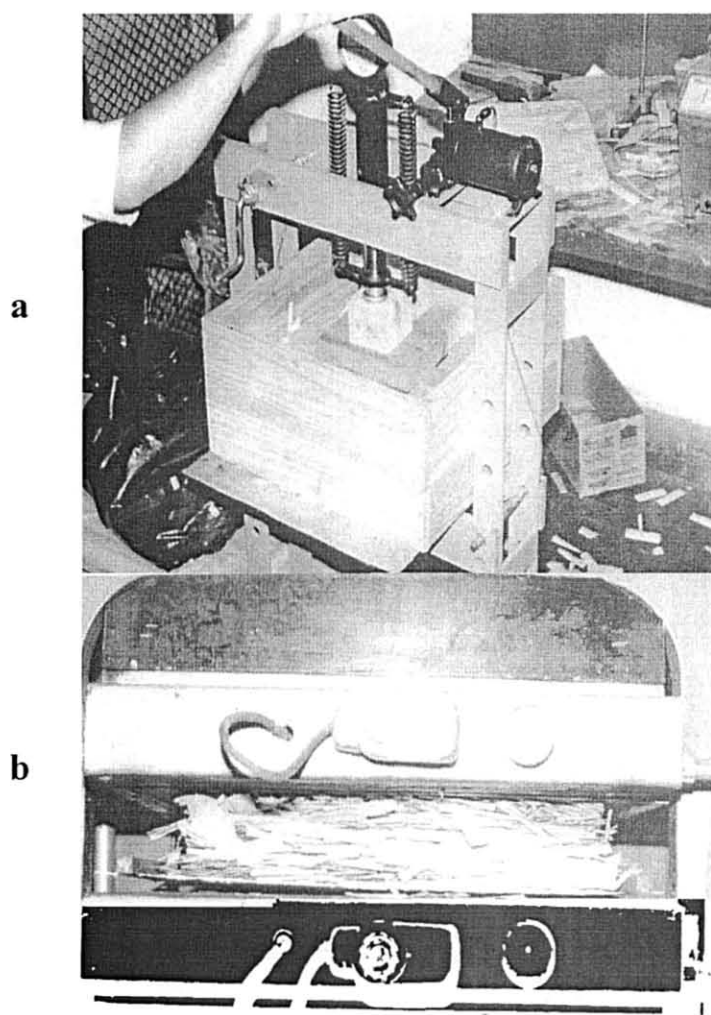


- 1 – Estrutura de madeira;
- 2 – Tampa de descarga;
- 3 – Lâminas de ferro;
- 4 – Caixa formadora e
- 5 – Colchão formado.

3.2.7 Prensagem

A temperatura de prensagem foi de 180 °C, o tempo de prensagem de 8 minutos e a pressão específica de 40 kg/cm², para as 3 etapas do trabalho. Inicialmente era feita uma pré-prensagem em uma prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão. Em seguida o colchão foi levado a uma prensa mecânica, onde era feita a prensagem propriamente dita (Figura 19).

FIGURA 19 – SISTEMA DE PRÉ-PRENSAGEM E PRENSAGEM À QUENTE DOS PAINÉIS OSB.



a – pré-prensagem do colchão e b – prensagem à quente.

3.2.8 Acondicionamento

Após a manufatura dos painéis, os mesmos foram empilhados e mantidos em câmara de climatização a uma temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa, até atingirem peso constante. Estas condições são exigidas pelas normas de ensaios, para que os resultados sejam padronizados, e permitam adequada comparação.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

O processo de obtenção dos corpos-de-prova foi realizado através do uso de uma serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, retirou-se cerca de 2cm de cada extremidade dos painéis. Os corpos-de-prova de flexão estática e de compressão paralela foram retirados no sentido paralelo e perpendicular em relação a orientação das partículas das camadas externas dos painéis. A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel é apresentada na Figura 20.

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram determinadas de acordo com as normas ASTM e DIN:

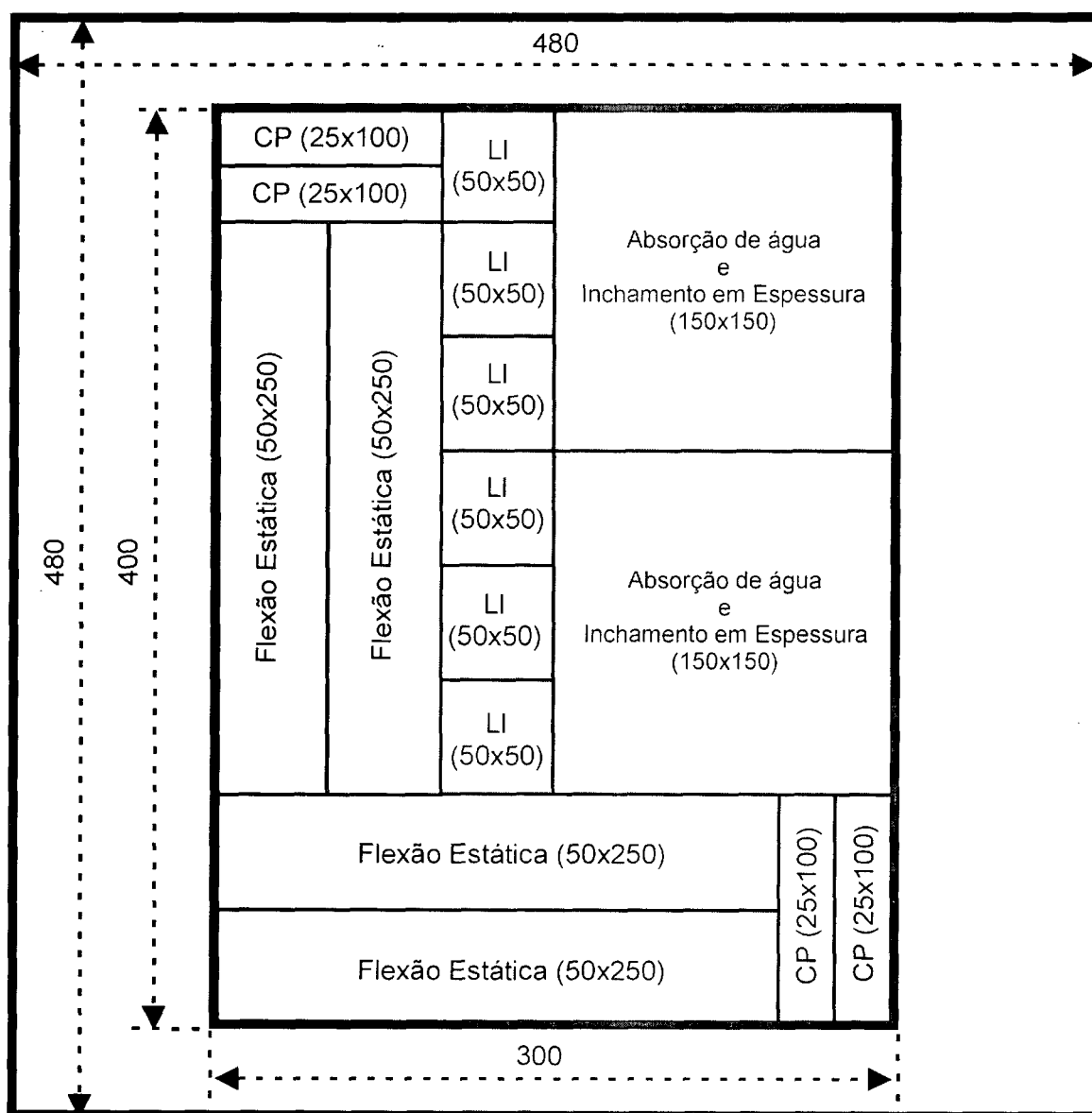
A – PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- Flexão estática (MOE): norma DIN 52362, 1982
- Flexão estática (MOR): norma DIN 52362, 1982
- Compressão paralela (CP): norma ASTM 1980:D1037-34.22
- Ligação interna (LI): norma ASTM 1980: D1037-28

B – PROPRIEDADES FÍSICAS:

- Absorção de água (AA): norma ASTM 1980:D1037-100
- Inchamento em espessura (IE): norma ASTM 1980:D1037-100
- Taxa de não retorno em espessura.

FIGURA 20 – ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NOS PAINÉIS PARA CORTE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES (unidades em mm).



3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após os ensaios dos corpos-de-prova, os dados referentes a cada fator testado foram submetidos a análise de variância e teste de médias (Tukey), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 POTENCIAL DENDOMÉTRICO DAS ESPÉCIES

Na Tabela 15 pode-se observar os valores relativos a circunferência a altura do peito (CAP) e altura total (HT) das seis espécies de *Pinus*. Nota-se que existe uma amplitude de variação de CAP de 18,63cm entre as espécies estudadas. O valor mínimo de CAP foi de 90,20cm para o *Pinus taeda*, enquanto que o valor máximo foi de 108,83cm para o *Pinus caribaea*. As demais espécies apresentaram valores intermediários.

Pode-se observar também que existe uma amplitude de variação de HT de 7,08m entre as espécies estudadas. O valor mínimo de HT foi de 15,28m para o *Pinus taeda*, enquanto que o valor máximo foi de 22,36m para o *Pinus chiapensis*.

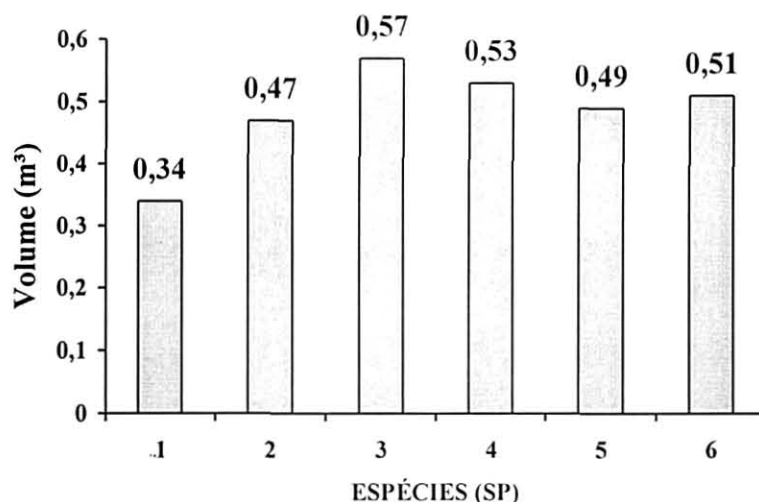
Na Figura 21 pode-se visualizar melhor a capacidade de produção volumétrica individual de cada espécie, ressaltando que esta produção se refere a idade de 11anos e para cálculo do volume foi utilizada a altura comercial. O *Pinus tecunumanii*, *Pinus caribaea* e *Pinus chiapensis*, respectivamente, apresentam em ordem decrescente o melhor potencial para produção de biomassa.

TABELA 15 – VALORES MÉDIOS DE CIRCUNFERÊNCIA A ALTURA DO PEITO (CAP) E ALTURA TOTAL (HT) DAS ESPÉCIES

ESPECIE	CAP (cm)	CV (%)	HT (m)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i> (SP1)	90,20 A	10,38	15,28 A	4,27
<i>Pinus maximinoi</i> (SP2)	90,33 A	10,47	22,16 C	4,94
<i>Pinus tecunumanii</i> (SP3)	107,00 AB	6,89	21,25 BC	7,57
<i>Pinus caribaea</i> (SP4)	108,83 B	13,49	18,88 B	8,78
<i>Pinus oocarpa</i> (SP5)	97,66 AB	9,74	21,61 BC	6,75
<i>Pinus chiapensis</i> (SP6)	100,33 AB	8,25	22,36 C	11,98

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 21 – VALORES MÉDIOS DE VOLUME DAS ÁRVORES SEM CASCA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.



- 1- *Pinus taeda*;
- 2- *Pinus maximinoi*;
- 3- *Pinus tecunumanii*;
- 4- *Pinus caribaea*;
- 5- *Pinus oocarpa*;
- 6- *Pinus chiapensis*.

4.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Através da Tabela 16 pode-se observar os resultados obtidos para densidade básica das seis espécies de *Pinus*. Nota-se que existe uma amplitude de variação de densidade básica de $0,06\text{g/cm}^3$ entre as espécies estudadas. O valor mínimo obtido foi de $0,37\text{g/cm}^3$ para o *Pinus caribaea* e *Pinus chiapensis*, enquanto que o valor máximo foi de $0,43\text{g/cm}^3$ para o *Pinus oocarpa*. Pode-se observar também, que todas as espécies estão dentro da faixa desejada de densidade ($0,25$ a $0,45\text{g/cm}^3$) para produção de painéis OSB mencionada por CLOUTIER (1998). É de se esperar, portanto, que os painéis OSB produzidos com estas espécies tenham performances similares aos produzidos pelas indústrias Canadenses e Americanas de OSB. Porém, fica a expectativa de até que nível esta amplitude de variação de densidade

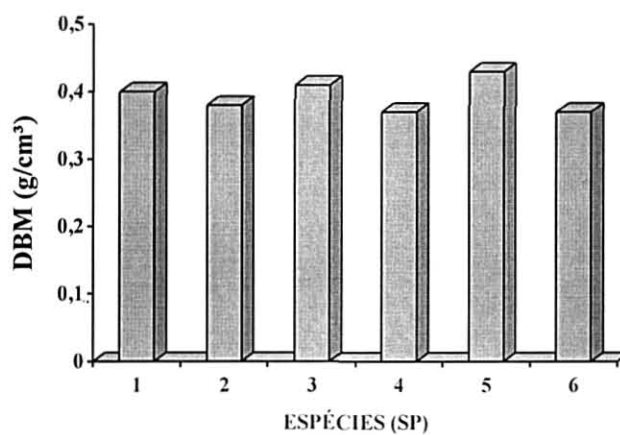
(0,06g/cm³), que numericamente é pequena (Figura 22), afetará as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos, o que será discutido na etapa 3 deste trabalho.

TABELA 16 – VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA POR ESPÉCIE.

ESPECIE	DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i> (SP1)	0,40 B	10,68
<i>Pinus maximinoi</i> (SP2)	0,38 AB	9,33
<i>Pinus tecunumanii</i> (SP3)	0,41 B	8,12
<i>Pinus caribaea</i> (SP4)	0,37 A	9,15
<i>Pinus oocarpa</i> (SP5)	0,43 C	8,33
<i>Pinus chiapensis</i> (SP6)	0,37 A	8,83

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 22 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA MÉDIA (DBM) DA MADEIRA PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS



- 1 – *Pinus taeda*;
- 2 – *Pinus maximinoi*;
- 3 – *Pinus tecunumanii*;
- 4 – *Pinus caribaea*;
- 5 – *Pinus oocarpa*;
- 6 – *Pinus chiapensis*.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA

Os resultados das análises químicas podem ser visualizados através da Tabela 17. Nota-se que existe uma amplitude de variação de extrativos totais de 3,16% entre as espécies estudadas. O valor mínimo obtido foi de 3,03% para o *Pinus taeda*, enquanto o valor máximo obtido foi de 6,19% para o *Pinus chiapensis*.

Durante a manufatura dos painéis da etapa 3, que também objetivou estudar a influência das espécies na qualidade dos painéis OSB, ocorreu estouro de alguns painéis produzidos de *Pinus chiapensis* (sp 6) e *Pinus tecunumanii* (sp 3). Na primeira espécie a quantidade de estouros foi maior. Ressalta-se que esta espécie, diferentemente das demais, apresenta cerne evidenciado como mostra a figura 23. Pode-se observar pela Tabela 17 que essas duas espécies apresentaram os maiores valores de extrativos totais. Este fato confirma o que foi ressaltado por MALONEY (1993) e CLOUTIER (1998), que espécies com alto teor de extrativos são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem. Os mesmos autores também chamaram atenção de que, estes mesmos extrativos poderiam interferir na cura da resina, como também resultar numa liga de baixa resistência entre as partículas, deste modo influenciando as propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, isso será discutido na etapa 3.

TABELA 17 – RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.

ANÁLISES	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
ÁGUA FRIA*	1,80	1,84	1,92	1,68	1,77	2,98
ÁGUA QUENTE*	2,44	2,92	4,19	3,92	3,85	4,76
ÁLCOOL+BENZENO*	1,65	2,06	3,09	3,36	3,86	4,47
NaOH*	8,90	9,90	12,98	12,29	13,77	13,50
EXTRATIVOS TOTAIS (%)	3,03	3,72	5,54	5,12	5,12	6,19
LIGNINA (%)	28,76	28,66	27,23	28,90	27,76	28,29
CINZAS (%)	0,22	0,17	0,19	0,21	0,25	0,15

*SOLUBILIDADE (%) 1-*Pinus taeda*, 2-*Pinus maximinoi*, 3-*Pinus tecunumanii*, 4-*Pinus caribaea*, 5-*Pinus oocarpa* e 6-*Pinus chiapensis*.

FIGURA 23 – CERNE EVIDENCIADO NA MADEIRA DE *Pinus chiapensis*.



4.4 RESULTADOS DA ETAPA 1 – CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR DE PARTÍCULAS

4.4.1 Densidade dos painéis

A análise de variância da densidade dos painéis (DP) mostrou que não houve diferença estatística significativa entre os valores médios entre os seis tratamentos, não havendo assim, a necessidade de ajuste destes valores através da análise de covariância. Os valores médios da densidade dos painéis por tratamento, bem como os respectivos coeficientes de variação, estão apresentados no Tabela 18. Esta homogeneidade da densidade dos painéis, numericamente ilustrada na figura 24, dentro dos painéis produzidos e entre os tratamentos, é um indicativo de que houve homogeneidade no processo de deposição das partículas.

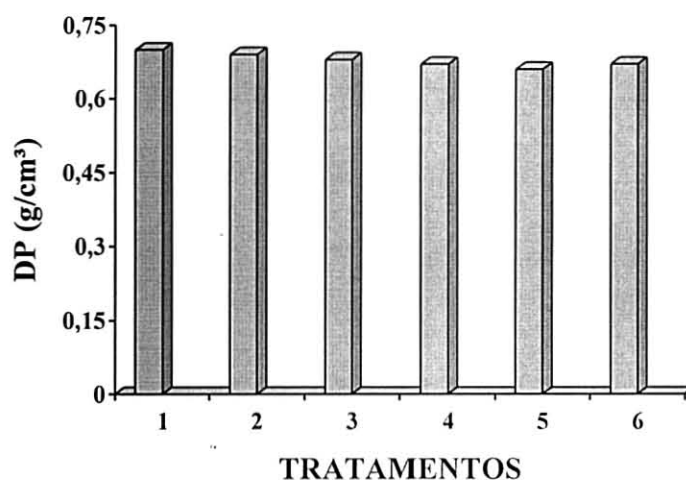
TABELA 18 - VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) POR TRATAMENTO NA ETAPA 1.

TRATAMENTOS	DP (g/cm ³)	CV(%)
1 – 25HO	0,70 A	9,67
2 – 25HE	0,69 A	11,53
3 – 20HO	0,68 A	7,97
4 – 20HE	0,67 A	6,24
5 – 15HO	0,66 A	8,04
6 – 15HE	0,67 A	7,48

DP – densidade dos painéis; CV – coeficiente de variação; HO – painéis homogêneos; HE – painéis heterogêneos e 25, 20 e 15 correspondem as larguras das partículas em mm.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 24 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) OSB POR TRATAMENTO PROPOSTO DA ETAPA 1.



1 – 25HO; 2 – 25HE; 3 – 20HO; 4 – 20HE; 5 – 15HO e 6 – 15HE
HO – painéis homogêneos e HE – painéis heterogêneos

4.4.2 Módulo de elasticidade (MOE)

a) Largura das partículas

Na Tabela 19 observa-se o efeito da largura das partículas (LP) sobre o MOE dos painéis OSB. Pode-se constatar que não ocorreram diferenças

estatísticas entre as três larguras (25, 20 e 15mm) de partículas estudadas, tanto no sentido perpendicular como no paralelo, como pode ser melhor visualizado na Figura 25. Estes resultados vão ao encontro à ressalva feita por SOBRAL FILHO (1979) de que a largura das partículas não apresenta uma relação lógica com as propriedades de flexão.

Pela tabela 19, pode-se observar também, que os valores do MOE no sentido paralelo são aproximadamente quatro vezes maiores em relação ao sentido perpendicular, fato este que comprova a eficiência do orientador de partículas desenvolvido.

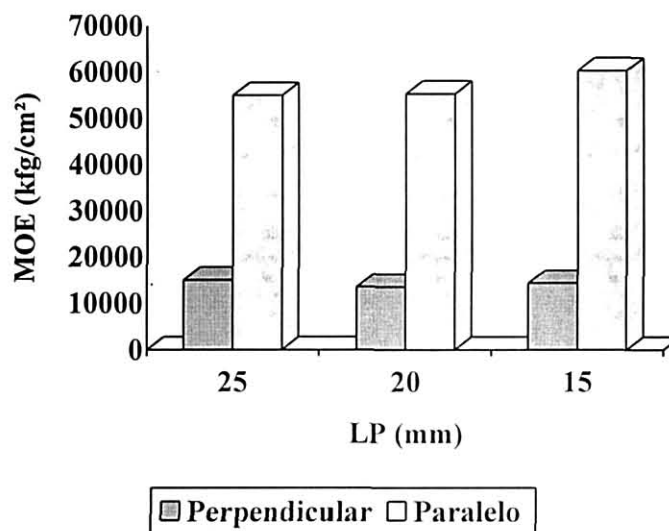
TABELA 19 – EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOE (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
	25	26	15096 A	29,60	55012 B	28,18
LP (mm)	20	22	13574 A	27,44	55421 B	22,93
	15	26	14403 A	27,95	60417 B	14,56

LP – largura das partículas e NCP – número de corpos de prova

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 25 – VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) DOS PAINÉIS OSB.



LP – largura das partículas

b) Composição dos painéis

Na Tabela 20 observa-se o efeito da composição dos painéis (CP) sobre o MOE dos painéis OSB. Ocorreram diferenças estatísticas entre os valores médios dos dois tipos de painéis (HO e HE) estudados, tanto no sentido perpendicular como no paralelo, como pode ser melhor visualizado na Figura 26. No sentido perpendicular a grande diferença observada entre os dois tipos de painéis, é devido às partículas da camada interna dos painéis HE em torno de 33%, estarem orientadas paralelamente a direção do flexionamento, enquanto que nos painéis HO as partículas estão orientadas no sentido perpendicular, resultando em menores valores médios de MOE. Já no sentido paralelo a situação é inversa, ou seja, nos painéis HO as partículas estão dispostas no sentido paralelo ao flexionamento, enquanto que nos painéis HE apenas as partículas da camadas externas (em torno de 66%) estão dispostas no sentido paralelo, levando a uma diminuição de aproximadamente 20% nos valores do MOE. A diferença entre os valores médios de MOE nos painéis HO foi cerca de 5 vezes maior no sentido paralelo em relação o sentido perpendicular, enquanto que para os painéis HE esta diferença foi em torno de

3 vezes. Esta diferença também foi encontrada por ZHOW (1990) para painéis OSB com relação face/miolo de 1:1:1.

Pela Tabela 20, pode-se observar também, que os valores do MOE no sentido paralelo são aproximadamente quatro vezes maiores em relação ao sentido perpendicular. Esta diferença comprova a eficiência do orientador de partículas desenvolvido.

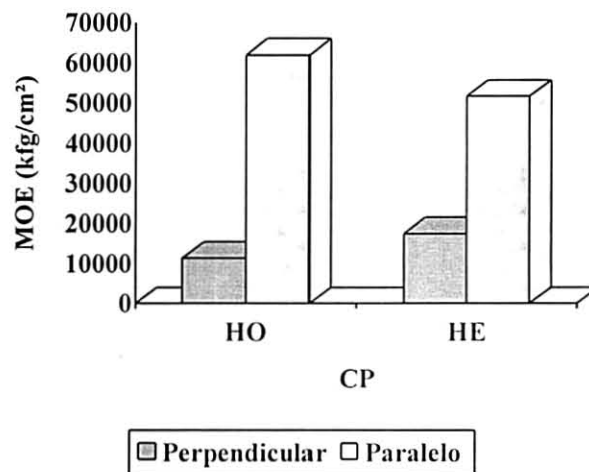
TABELA 20 – EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOE (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
CP	HO	38	11413 A	18,10	61996 C	22,46
	HE	36	17553 B	18,48	51794 D	16,95

NCP – Número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação; HO – painéis e HE – painéis heterogêneos

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 26 – VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS OSB (CP).



HO – painéis homogêneos e HE – painéis heterogêneos

4.4.3 Módulo de ruptura (MOR)

a) Largura das partículas

Na Tabela 21 são apresentados os valores médios de MOR, devidos ao efeito da largura das partículas (LP). Nota-se que não ocorreu diferença estatística entre as médias das três larguras (25, 20 e 15mm) de partículas estudadas, tanto no sentido perpendicular como no paralelo (Figura 27). Foram observadas as mesmas tendências que ocorreram para o MOE, ou seja, aumento do MOR com a diminuição da largura das partículas no sentido paralelo e tendência não definida no sentido perpendicular. A não significância desta faixa de larguras (25, 20 e 15mm) das partículas não influenciando as propriedades de flexão, mostra que realmente esta variável não é relevante para esta propriedade, uma vez que GEIMER (1976) constatou que partículas com larguras abaixo de 12,7mm, também não apresenta nenhuma correlação com o MOR.

Pela tabela 21, pode-se observar também, que os valores médios do MOR no sentido paralelo são aproximadamente quatro vezes maiores em relação ao sentido perpendicular, esta diferença comprova a eficiência do orientador de partículas desenvolvido.

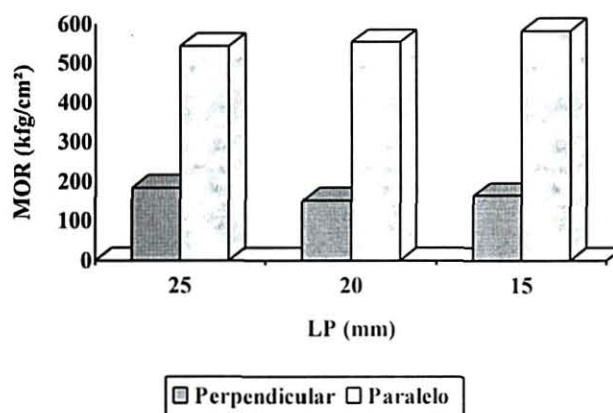
TABELA 21 – EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	MOR (kgf/cm ²)			
		PERPENDICULAR		PARALELO	
		MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
25	26	183 A	44,05	544 B	35,30
LP (mm)	20	152 A	46,59	554 B	34,65
	15	164 A	43,81	583 B	17,54

NCP – número de corpos de prova; LP – largura das partículas e CV – coeficiente de variação

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 27 – VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) DOS PAINÉIS OSB.



LP – largura das partículas

b) Composição dos painéis

Na Tabela 22 e Figura 28 observa-se o efeito da composição dos painéis (CP) sobre o MOR dos painéis OSB. Nota-se que ocorreram diferenças estatísticas entre os valores médios dos dois tipos de painéis (HO e HE) estudados, tanto no sentido perpendicular como no paralelo, como pode ser visualizado na tabela 22. Foram observadas as mesmas tendências encontradas para o MOE, ou seja, o MOR nos painéis HO foi aproximadamente 2 vezes menor no sentido perpendicular em relação ao MOR dos painéis HE, enquanto que no sentido paralelo a situação é invertida, com os painéis HO alcançando valores médios maiores. O MOR paralelo dos painéis HO foi quase 6 vezes maior do que o MOR perpendicular, enquanto que nos painéis HE esta diferença foi em torno de 2 vezes, sendo que este resultado se encontra dentro da faixa citada por ZHOW (1990). Esta diferença comprova a eficiência do orientador de partículas desenvolvido.

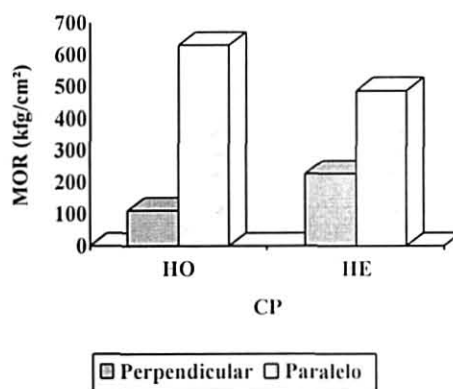
TABELA 22 – EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOR (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
CP	HO	38	111 A	27,34	630 C	27,90
	HE	36	227 B	26,86	487 D	23,43

NCP – Número de corpos de prova; CP – composição dos painéis; CV – coeficiente de variação; HO – painéis e HE – painéis heterogêneos

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 28 – VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP).



CP – composição dos painéis; HO – painéis e HE – painéis heterogêneos

4.5 RESULTADOS DA ETAPA 2 – EFEITOS DA DENSIDADE, COMPOSIÇÃO E DO TEOR DE RESINA DOS PAINÉIS

4.5.1 Densidade dos painéis

A análise de variância da densidade dos painéis (DP) dos corpos-de-prova mostrou que, como esperado, houve diferença estatística entre os valores médios de tratamentos ímpares (densidade nominal de 0,65g/cm³) e os pares (densidade nominal de 0,80g/cm³), como apresentado na Tabela 23 e melhor visualizado na Figura 29. O fato de não existir diferença estatística

dentro dos tratamentos ímpares e pares, mostra mais uma vez, a exemplo da etapa 1, que não houve a necessidade de correção destes valores através da análise de covariância, demonstrando que o processo de deposição das partículas foi homogêneo.

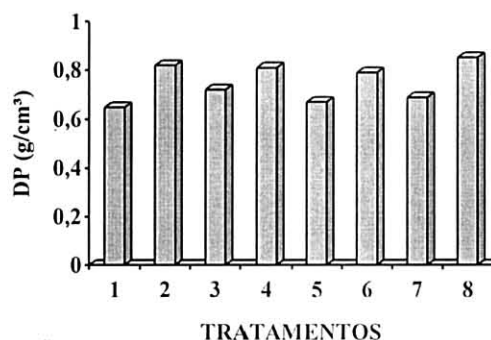
TABELA 23 – DENSIDADE MÉDIA DOS PAINÉIS (DP) PARA OS TRATAMENTOS PROPOSTOS NA ETAPA 2.

TRATAMENTO	NCP	DENSIDADE DOS PAINÉIS (g/cm ³)	C.V. (%)
1	24	0,65 A	11,22
2	24	0,82 B	10,21
3	24	0,72 A	13,70
4	24	0,81 B	10,89
5	24	0,67 A	10,26
6	24	0,79 B	13,00
7	24	0,69 A	9,96
8	24	0,85 B	9,68

Nos tratamentos ímpares a densidade nominal dos painéis é de 0,65g/cm³ e nos pares é de 0,80g/cm³. NCP – número de corpos de prova e CV – coeficiente de variação.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 29 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS NA ETAPA 2 DO TRABALHO.



Tratamentos ímpares a densidade nominal dos painéis é de 0,65g/cm³ e nos pares é de 0,80g/cm³.

4.5.2 Módulo de elasticidade (MOE)

Na Tabela 24 e Figura 30, estão apresentados os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre o MOE dos painéis OSB.

a) Densidade dos painéis

Com o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³ ocorreu um aumento estatisticamente significativo nos valores médios do MOE na direção perpendicular e paralela à orientação das partículas. Já com relação à diferença (significativa estatisticamente) entre o sentido paralelo e perpendicular dentro das mesmas classes de densidades dos painéis, a direção paralela foi em torno de 2 vezes maior do que a perpendicular, seguindo a mesma tendência observada na etapa 1 deste trabalho, e de acordo com o resultado apresentado por ZHOW (1990). Esta relação encontrada entre densidade dos painéis e MOE, está de acordo com os resultados encontrados na literatura, que mostram que aumentando-se a densidade dos painéis ocorre um aumento no MOE. Esta tendência foi observada por vários pesquisadores, entre eles SOBRAL FILHO (1981); ZHOW (1990) e ZHANG et al. (1998).

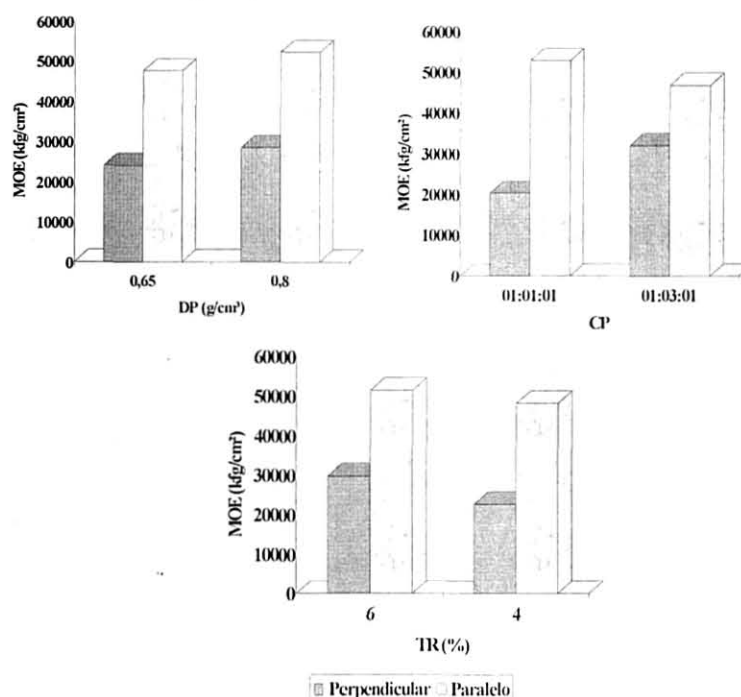
TABELA 24 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOE (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
DP (g/cm ³)	0,65	32	24039 A	38,23	47575 C	18,15
	0,80	32	28448 B	33,44	52262 D	16,90
CP	1:1:1	32	20350 A	25,08	52918 C	17,28
	1:3:1	32	32137 B	29,07	46919 D	16,73
TR (%)	6	32	29716 A	33,56	51539 C	16,98
	4	32	22716 B	34,21	48297 C	18,73

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 30 – VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis e TR – teor de resina

b) Composição dos painéis

O MOE paralelo dos painéis com maior relação face/miolo (1:1:1) foi estatisticamente superior quando comparado aos painéis com menor relação face/miolo (1:3:1). Já o valor médio do MOE perpendicular dos painéis com menor relação face/miolo (1:3:1) foi estatisticamente superior quando comparado aos painéis com maior relação face/miolo (1:1:1). Este fato ocorre porque o aumento da espessura do miolo favorece o comportamento do MOE perpendicular em função de que as fibras das partículas do miolo estejam também nesta direção.

Pode-se constatar também que com a diminuição da relação face/miolo, ocorre também uma diminuição da diferença (estatisticamente significativa) entre o valor do MOE do sentido paralelo e perpendicular. Para os painéis de composição 1:1:1, o sentido paralelo foi 2,6 vezes maior que o perpendicular, enquanto que para os painéis de composição 1:3:1 a diferença foi de 1,45 vezes. Esta constatação também foi encontrada por SUZUKI e TAKEDA

(2000) que também observaram que MOE pode ser igualado no sentido paralelo e perpendicular com 25% de camadas externas (25/50/25).

Esta tendência de diminuição da relação face/miolo dos painéis provocando aumento do MOE no sentido perpendicular à orientação das partículas das faces, está de acordo com os resultados encontrados por outros pesquisadores, dentre eles pode-se destacar AVRAMIDIS e SMITH (1989); ZHANG et al. (1998) e MURAKAMI et al. (1999).

c) Teor de resina

Quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%, ocorreu um incremento estatisticamente significativo do MOE na direção perpendicular, esta tendência também foi observada por AVRAMIDIS e SMITH (1989) e por MURAKAMI et al. (1999) que trabalharam com o mesmo tipo e níveis de resina (FF).

No entanto para o MOE na direção paralela não ocorreu um incremento, sendo estatisticamente igual, apesar do valor médio do MOE referente à 6% de resina ser superior numericamente ao de 4%. Este resultado está de acordo com o encontrado por WU (1999) que não encontrou uma relação bem definida entre o teor de resina e MOE.

O MOE na direção paralela foi em torno de 2 vezes maior em relação a direção perpendicular, para os dois níveis de resina estudados.

A adesão entre as camadas é favorecida com uma maior quantidade de resina, porque ocorre um aumento de sua disponibilidade por área superficial de partículas, consequentemente aumentando a resistência da linha de cola, e consequentemente os valores de MOE.

4.5.3 Módulo de ruptura (MOR)

Na Tabela 25 e Figura 31, estão apresentados os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre o MOR dos painéis OSB.

a) Densidade dos painéis

Com o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³ ocorreu um aumento estatisticamente significativo no MOR no sentido perpendicular e paralelo à orientação das partículas. Já com relação à diferença (estatisticamente significativa) entre o sentido paralelo e perpendicular dentro das densidades dos painéis, a direção paralela foi em torno de 2 vezes maior do que a perpendicular, seguindo a mesma tendência encontrada na etapa 1 deste trabalho, estando de acordo com o resultado encontrado por ZHOW (1990). Esta relação encontrada entre densidade dos painéis e MOR, esta de acordo com os resultados encontrados na literatura, que mostram que aumentando-se a densidade dos painéis ocorre um aumento no MOR. Esta tendência foi observada por vários pesquisadores, entre eles SOBRAL FILHO (1981), ZHOW (1990) e ZHANG et al. (1998).

b) Composição dos painéis

O MOR paralelo dos painéis com maior relação face/miolo (1:1:1) foi estatisticamente superior quando comparado aos painéis com menor relação face/miolo (1:3:1). Já o MOR perpendicular dos painéis com menor relação face/miolo (1:3:1) foi estatisticamente superior quando comparado aos painéis com maior relação face/miolo (1:1:1). Este fato ocorre porque o aumento da espessura do miolo favorece o comportamento do MOR perpendicular em função de as fibras das partículas do miolo estarem também nesta direção.

Pode-se constatar também que com a diminuição da relação face/miolo, ocorre também uma diminuição da diferença entre o valor do MOR do sentido paralelo e perpendicular.

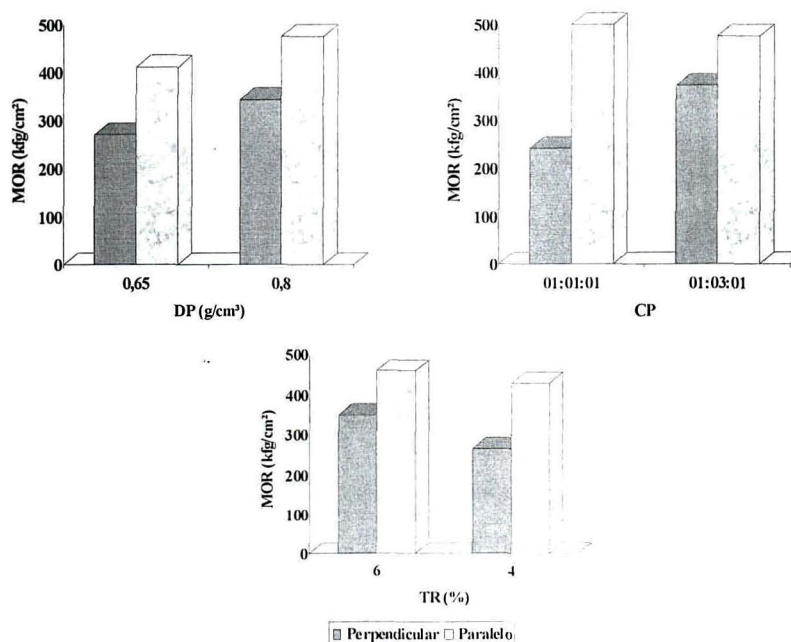
TABELA 25 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOR (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
DP (g/cm ³)	0,65	32	270 A	44,03	411 C	28,50
	0,80	32	343 B	38,08	476 D	26,36
CP	1:1:1	32	241 A	31,40	512 C	26,53
	1:3:1	32	372 B	37,44	475 B	28,46
TR (%)	6	32	349 A	39,48	458 C	26,76
	4	32	264 B	40,14	428 C	29,63

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 31 – VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis e TR – teor de resina

Para os painéis de composição 1:1:1, o sentido paralelo foi 2,6 vezes maior que o perpendicular, enquanto que para os painéis de composição 1:3:1 a diferença foi de 1,45 vezes. Esta constatação também foi encontrada por SUZUKI e TAKEDA (2000), os quais, observaram que o MOR pode ser igualado no sentido paralelo e perpendicular com 25% de cada camada externa (25/50/25).

Esta tendência de diminuição da relação face/miolo dos painéis provocando aumento do MOR no sentido perpendicular à orientação das partículas das faces, está de acordo com os resultados encontrados por outros pesquisadores, dentre eles pode-se destacar AVRAMIDIS e SMITH (1989); ZHANG et al. (1998) e MURAKAMI et al. (1999).

c) Teor de resina

Quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%, ocorreu um incremento estatisticamente significativo do MOR na direção perpendicular. Esta tendência também foi observada por AVRAMIDIS e SMITH (1989) e por MURAKAMI et al. (1999) que trabalharam com o mesmo tipo e níveis de resina (FF).

No entanto, o MOR na direção paralela não ocorreu um incremento significativo estatisticamente, com o aumento do teor de resina, apesar do valor médio do MOR referente à 6% de resina ser superior numericamente ao de 4%. Este resultado está de acordo com o encontrado por WU (1999) que não encontrou uma relação bem definida entre o teor de resina e MOR.

O MOR na direção paralela foi em torno de 2 vezes maior em relação a direção perpendicular, para os dois níveis de resina estudados.

A adesão entre as camadas é favorecida com uma maior quantidade de resina, porque ocorre um aumento de sua disponibilidade por área superficial de partículas, consequentemente aumentando a resistência da linha de cola, e por sua vez transmitindo esta para valores maiores de MOR.

4.5.4 Compressão paralela

Na Tabela 26 e figura 32, observa-se os efeitos da densidade dos painéis (DP), da composição dos painéis (CP) e do teor de resina (TR) sobre a compressão paralela dos painéis OSB.

a) Densidade dos painéis

Pela Tabela 26 e Figura 32 pode-se constatar que o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³ resultaram em valores de compressão paralela estatisticamente superiores, tanto na direção de teste paralela como na perpendicular. Pode-se observar também que não houve diferença estatisticamente significativa entre o sentido perpendicular e paralelo, para as duas densidades de painéis estudadas.

b) Composição dos painéis

A diminuição da relação face/miolo, resultou em valores de compressão paralela estatisticamente superiores, tanto na direção de teste paralela como na perpendicular. Pode-se observar também que não houve diferença entre o sentido perpendicular e paralelo para os dois tipos de composição de painéis. Esta tendência demonstra que a compressão paralela, não é influenciada de forma definida pela relação face/miolo. Esta propriedade é mais dependente da ligação interna entre as partículas e da qualidade da linha de cola entre as mesmas.

c) Teor de resina

Na direção de teste perpendicular, os painéis produzidos com 6% de resina, apresentaram valor médio de compressão paralela estatisticamente superior aos painéis produzidos com 4% de resina. No entanto, para as demais condições não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas.

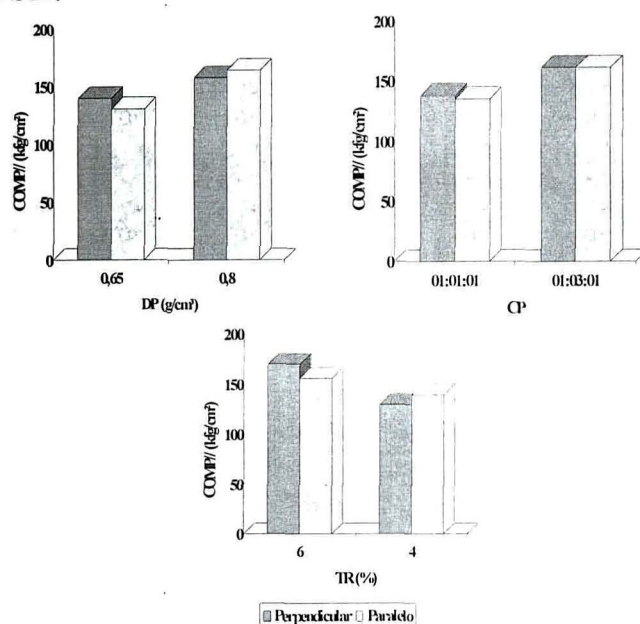
TABELA 26 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	COMPRESSÃO PARALELA (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
DP (g/cm ³)	0,65	32	140 A	44,90	131 A	34,44
	0,80	32	158 B	44,42	164 B	32,41
CP	1:1:1	32	138 A	34,56	135 A	32,38
	1:3:1	32	161 B	50,37	161 B	36,23
TR (%)	6	32	170 A	38,05	156 AC	28,91
	4	32	129 B	49,41	139 BC	36,23

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 32 – VARIAÇÃO DA COMPRESSÃO PARALELA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis e TR – teor de resina

4.5.5 Ligação interna

Na Tabela 27 e figura 33, observa-se os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre a ligação interna dos painéis OSB.

a) Densidade dos painéis

A ligação interna dos painéis com densidade de $0,80\text{g/cm}^3$ foi estatisticamente superior em relação aos painéis com densidade de $0,65\text{g/cm}^3$. Esta tendência também foi observada por SOBRAL FILHO (1981); ZHOW (1990) e ZHANG et al. (1998). SUCHSLAND (1977) afirma que o aumento da razão de compactação, provocada pelo aumento da densidade dos painéis, que é decorrente do aumento da quantidade de partículas a serem prensadas, faz com que os painéis produzidos tenham propriedade de ligação interna maior.

b) Composição dos painéis

A diminuição da relação face/miolo de 1:1:1 para 1:3:1, resultou em valores estatisticamente superiores de ligação interna. Esta tendência está de acordo com a encontrada por AVRAMIDIS e SMITH (1989), e contradiz MURAKAMI et al. (1999) que concluiu que a ligação interna não é afetada pela relação face/miolo. Esta contradição deve ser estudada com mais cuidado, uma vez que a composição dos painéis não deveria influenciar na ligação interna, pois se trata de uma força perpendicular à superfície da ligação das partículas.

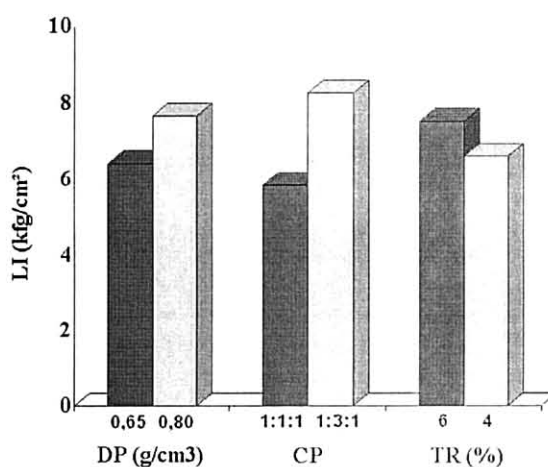
TABELA 27 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
DP (g/cm ³)	0,65	96	6,41 A	34,80
	0,80	96	7,66 B	33,14
CP	1:1:1	96	5,82 A	31,00
	1:3:1	96	8,25 B	29,62
TR (%)	6	96	7,50 A	36,72
	4	96	6,58 B	31,19

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 33 – VARIAÇÃO DA LIGAÇÃO INTERNA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis e TR – teor de resina

c) Teor de resina

Painéis produzidos com 6% de resina apresentaram valores médios de ligação interna estatisticamente superiores em relação aos painéis produzidos com 4% de resina. Esta relação também foi observado por AVRAMIDIS e SMITH (1989) que trabalharam com o mesmo tipo e níveis de resina (FF) usados neste trabalho. Este aumento de ligação interna, é devido ao aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, o que provoca uma maior adesão na linha de cola.

4.5.6 Absorção de água

Na Tabela 28 e figura 34, observa-se os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre a absorção de água dos painéis OSB. Nota-se, que houve efeito significativo de todos os fatores estudados. Os altos valores encontrados para absorção de água são devidos ao fato de que não foi utilizada emulsão de parafina na manufatura dos painéis nesta etapa do trabalho.

a) Densidade dos painéis

O aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³, resultou em valores estatisticamente significativos inferiores de absorção de água, tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água. Esta redução em absorção de água pode ser explicada pelo fato de que o acesso da água em painéis mais densos é menor em função da maior quantidade de massa lenhosa compactada para uma mesma espessura, produzindo uma barreira física impedindo a absorção de água capilar. Esta observação também foi detectada por AVRAMIDIS e SMITH (1989) e por ZHOW (1990). No entanto, os mesmos autores observaram que não existe uma tendência definida para este comportamento, e dependendo da interação com outras variáveis do processo, pode ocorrer o inverso.

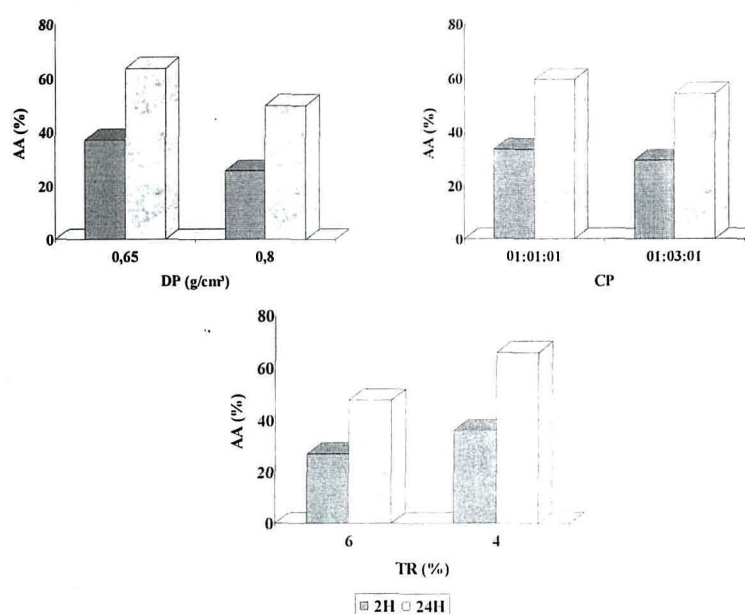
TABELA 28 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
		2H		24H	
		MÉDIA (%)	CV (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
DP (g/cm ³)	0,65	37,17 A	22,66	63,75 C	17,97
	0,80	25,65 B	36,14	49,95 D	30,16
CP	1:1:1	33,42 A	31,86	59,50 C	25,81
	1:3:1	29,40 B	34,61	54,21 D	26,49
TR (%)	6	26,88 A	33,62	47,68 C	23,71
	4	35,95 B	27,99	66,02 D	18,86

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 34 – VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina

b) Composição dos painéis

Com diminuição da relação face/miolo dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1, houve uma redução estatisticamente significativa na absorção de água, tanto para 2, como para 24 horas de imersão em água. De acordo com AVRAMIDIS e SMITH (1989) não há uma explicação clara da influência da relação face/miolo sobre esta propriedade.

c) Teor de resina

Houve uma redução estatisticamente significativa nos valores médios de absorção de água, tanto para 2 como para 24 horas, quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%. Esta tendência também foi observada por AVRAMIDIS e SMITH (1989) que trabalharam com o mesmo tipo e níveis de resina (FF) usados neste trabalho. O aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, é a causa da diminuição da absorção de água quando o teor de resina passou de 4 para 6%, não só pela barreira física que é maior na linha de cola, bem como pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água.

4.5.7 Inchamento em espessura

Na Tabela 29 e Figura 35, estão apresentados os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre o inchamento em espessura dos painéis OSB. Os altos valores encontrados para inchamento em espessura, são devidos ao fato de que não foi utilizada emulsão de parafina na manufatura dos painéis nesta etapa do trabalho.

a) Densidade dos painéis

O aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³, acarretou um aumento estatisticamente significativo apenas para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água. Este fato acontece porque com o

aumento da densidade e da razão de compactação, ocorre uma maior liberação das tensões de compressão. A tensão liberada é maior porque painéis mais densos possuem uma quantidade maior de material lenhoso. Este efeito parece ser altamente dependente da amplitude entre a menor e a maior densidade, pois SOBRAL FILHO (1981) não observou efeito da densidade dos painéis sobre o inchamento em espessura (IE24H). No entanto a amplitude de variação de densidade dos painéis foi relativamente pequena (0,67 a 0,73g/cm³), enquanto que neste trabalho a amplitude foi na faixa de 0,15g/cm³.

O maior valor numérico de inchamento em espessura apresentado pelos painéis de menor densidade, após 2 horas de imersão está relacionado com a menor absorção de água dos painéis mais densos, e pelo fato de que nesta fase ainda não teve início o processo de liberação das tensões.

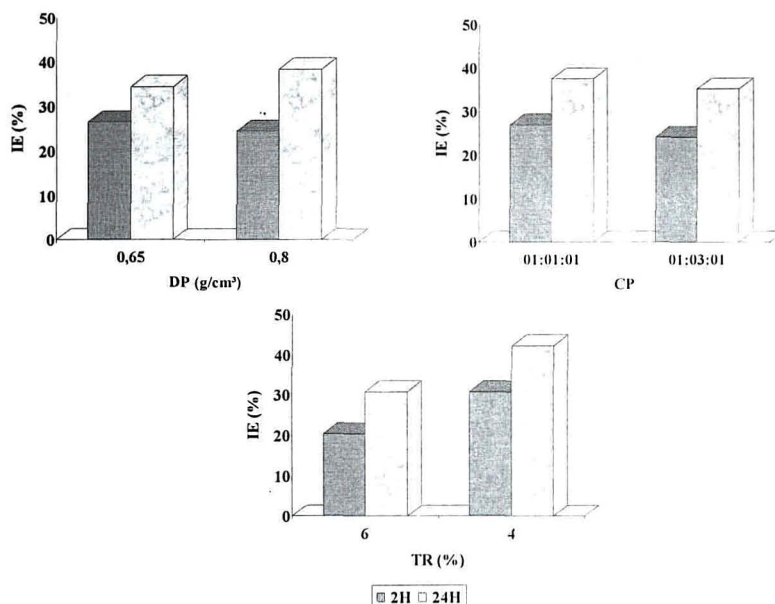
TABELA 29 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
			2H		24H	
			MÉDIA (%)	CV (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
DP (g/cm³)	0,65	32	26,36 A	27,00	34,29 C	22,54
	0,80	32	24,36 A	32,49	38,34 D	22,66
CP	1:1:1	32	26,95 A	30,19	37,50 C	25,86
	1:3:1	32	24,11 B	28,17	35,13 C	19,47
TR (%)	6	32	20,27 A	24,02	30,39 C	15,21
	4	32	30,78 B	19,43	42,23 D	16,74

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 35 – VARIAÇÃO DO INCHAMENTO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina

b) Composição dos painéis

Com diminuição da relação face/miolo dos painéis, resultou numa redução estatisticamente significativa nos valores médios de inchamento em espessura, apenas para imersão em água após 2 horas. Para imersão em água após 24 horas houve redução, mas a diferença não foi estatisticamente significativa. Este resultado está de acordo com os valores detectados por AVRAMIDIS e SMITH (1989), porém no mesmo trabalho foram encontradas algumas observações mostrando o inverso, mostrando que não existe uma tendência lógica de relacionamento entre inchamento em espessura e relação face miolo.

c) Teor de resina

Com relação ao teor de resina, pode-se constatar que houve redução estatisticamente significativa no inchamento em espessura, tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água, quando o teor de resina foi aumentado de

4 para 6%. Esta tendência também foi observada por AVRAMIDIS e SMITH (1989) que trabalharam com o mesmo tipo e níveis de resina (FF) usados neste trabalho. O aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, é a causa da diminuição do inchamento em espessura quando o teor de resina passou de 4 para 6%, não só pela barreira física que é maior na linha de cola, bem como pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água.

4.5.8 Taxa de não retorno em espessura (Spring-back)

Na tabela 30 e figura 36, estão apresentados os efeitos da densidade dos painéis (DP), composição dos painéis (CP) e teor de resina (TR) sobre a taxa de não retorno em espessura dos painéis OSB. Os altos valores encontrados para taxa de não retorno em espessura, pode ser atribuído ao fato de que não foi utilizada emulsão de parafina na manufatura dos painéis nesta etapa do trabalho.

a) Densidade dos painéis

O aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³, acarretou um aumento valores médios estatisticamente significativos da taxa de não retorno em espessura dos painéis OSB. Esta tendência também foi encontrada por CHILDS (1956) e citado por KELLY (1977) que menciona a existência de uma relação direta entre taxa de não retorno em espessura e densidade do painel. A explicação para esta tendência está no fato da maior quantidade de partículas em painéis de densidades maiores, traduzindo em um maior inchamento residual, em painéis de mesma espessura.

b) Composição dos painéis

A diminuição da relação face/miolo dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1, não afetou significativamente a taxa de não retorno em espessura. Como discutido

anteriormente, com exceção da expansão linear, não existe uma relação definida entre esta variável e as propriedades físicas dos painéis.

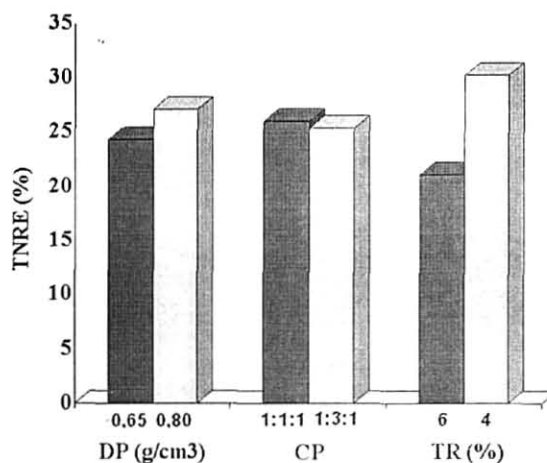
TABELA 30 – EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) SOBRE A TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)		
		MÉDIA (%)	CV (%)	
DP (g/cm³)	0,65	32	24,34 A	27,13
	0,80	32	27,07 B	25,21
CP	1:1:1	32	26,05 A	30,73
	1:3:1	32	25,35 A	21,49
TR (%)	6	32	21,16 A	18,73
	4	32	30,24 B	19,78

DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina e NCP – número de corpos de prova.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 36 – VARIAÇÃO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR) DOS PAINÉIS OSB.



DP – densidade dos painéis; CP – composição dos painéis; TR – teor de resina.

c) Teor de resina

Com relação ao teor de resina, pode-se constatar que houve uma redução estatisticamente significativa na taxa de não retorno em espessura nos painéis OSB, quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%. Esta tendência também foi observada por CHILDS (1956) e citado por KELLY (1977) que menciona a existência de uma relação inversa entre o conteúdo de resina e a taxa de não retorno em espessura (TNRE). O aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, é a causa da diminuição da taxa de não retorno em espessura quando o teor de resina passou de 4 para 6%, não só pela barreira física que é maior na linha de cola, bem como pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo a água. Esta propriedade está associada ao inchamento em espessura, que também foi menor quando o teor de resina passou de 4 para 6%, logicamente se inchou menos, o inchamento residual, denominado de TNRE também será menor.

4.6 RESULTADOS DA ETAPA 3 – EFEITOS DAS ESPÉCIES E DO TEOR DE PARAFINA

4.6.1 Densidade dos painéis

Os valores médios da densidade dos painéis por tratamento, bem como os respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 31. A pequena variação de densidade dos painéis entre os tratamentos (Tabela 31 e Figura 37), e os resultados da análise de variância mostra mais uma vez, a exemplo das etapas 1 e 2, que não houve a necessidade de correção destes valores através da análise de covariância, mostrando que a formação do colchão é homogênea não havendo irregularidade no processo de deposição das partículas ao longo dos painéis.

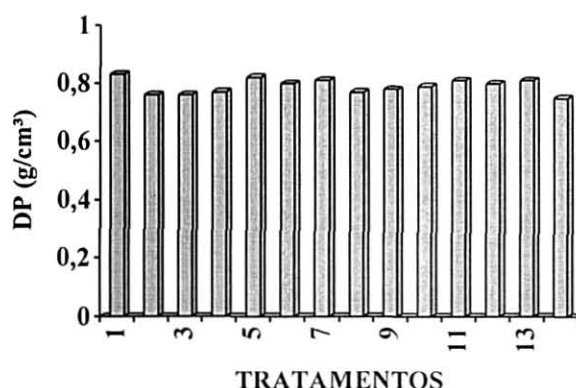
TABELA 31 – DENSIDADE ESPECÍFICA MÉDIA DOS PAINÉIS PARA CADA TRATAMENTO PROPOSTO NA ETAPA 3 DO TRABALHO.

TRATAMENTO	NCP	DP (g/cm ³)	C.V. (%)
1	8	0,83 A	7,21
2	6	0,76 A	6,96
3	6	0,76 A	5,51
4	6	0,77 A	8,14
5	6	0,82 A	10,47
6	6	0,80 A	9,26
7	6	0,81 A	6,05
8	6	0,77 A	10,61
9	6	0,78 A	9,39
10	6	0,79 A	9,86
11	6	0,81 A	5,77
12	6	0,80 A	2,72
13	6	0,81 A	5,39
14	6	0,75 A	8,52

NCP – número de corpos de prova; DP – densidade dos painéis e CV – coeficiente de variação. A densidade nominal dos painéis de todos os tratamentos foi de 0,80g/cm³.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 37 – VARIAÇÃO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS PROPOSTOS DA ETAPA 3



DP – densidade dos painéis; densidade nominal foi de $0,80 \text{ g/cm}^3$

1 – *Pinus taeda*; 2 – *Pinus maximinoi*; 3 – *Pinus tecunumanii*; 4 – *Pinus caribaea* var. hondurensis, 5 – *Pinus oocarpa*; 6 – *Pinus chiapensis* e 7 – Misturas das seis espécies.

Tratamentos 7 a 14 repetem-se as espécies com a inclusão de emulsão de parafina.

4.6.2 Módulo de elasticidade (MOE)

Na tabela 32 e figura 38 observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre o MOE dos painéis OSB.

a) Espécies

Nota-se que não houve diferença estatística entre os valores médios do MOE perpendicular para a variável espécie, sendo que o maior valor foi obtido para *Pinus taeda* (48954 kgf/cm^2) e o menor para *Pinus maximinoi* (41108 kgf/cm^2). Também para o sentido paralelo não houve diferença estatística das espécies sobre o MOE, sendo que o maior valor foi obtido para *Pinus maximinoi* (69025 kgf/cm^2) e o menor para *Pinus taeda* (58155 kgf/cm^2). Estes valores apresentados são superiores aos valores mínimos definidos pela norma canadense CSA 0437 que são de 15000 e 55000 kgf/cm^2 , respectivamente para a direção perpendicular e paralela.

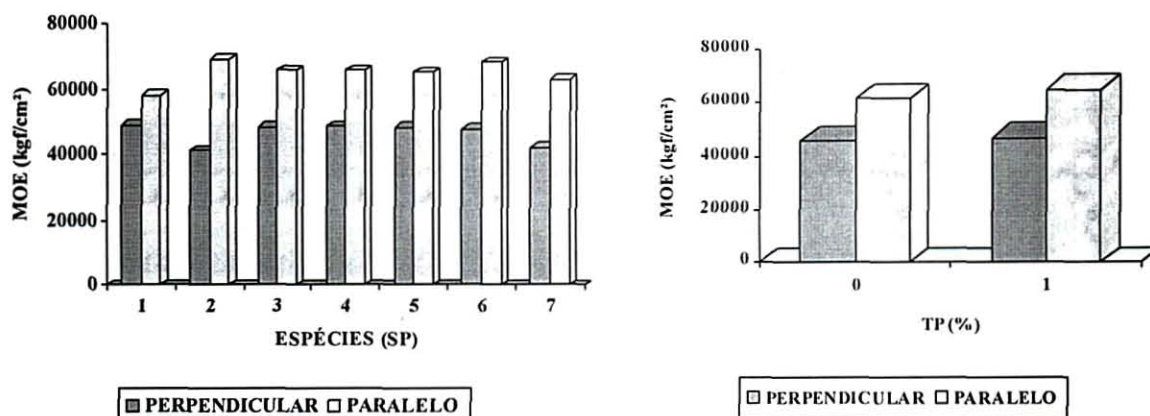
TABELA 32 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O MOE DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	MOE (kgf/cm ²)			
		PERPENDICULAR		PARALELO	
		MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>	6	48954 A	18,19	58155 B	11,03
<i>Pinus maximinoi</i>	6	41108 A	15,57	69025 B	21,99
<i>Pinus tecunumanii</i>	6	48368 A	16,16	65735 B	11,64
<i>Pinus caribaea</i>	6	48666 A	11,46	65846 B	14,29
<i>Pinus oocarpa</i>	6	48347 A	24,36	65057 B	9,56
<i>Pinus chiapensis</i>	6	47549 A	16,07	68070 B	8,93
Mistura*	6	42271 A	19,15	63086 B	14,04
TP 0	44	45368 A	17,84	61476 B	12,28
TP 1	44	46866 A	17,69	65170 C	13,86

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Misturas das seis espécies.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

FIGURA 38 – VARIAÇÃO DO MOE EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina resultou em aumento estatisticamente significativo na média do MOE na sentido paralelo, enquanto que para o sentido perpendicular não acarretou efeito significativo. Esta constatação é contrária à maioria das citações encontradas na literatura, exceto MATOS (1988) que encontrou a mesma tendência para umidade de partículas entre 3 e 5%, sendo que ele atribuiu este fato ao aumento da umidade do colchão, aumentando a plasticização da madeira e melhorando a área de contato entre as partículas. No entanto, ele também sugeriu a necessidade de estudos complementares para melhor justificar esta evidência.

4.6.3 Módulo de ruptura (MOR)

Na Tabela 33 e Figura 39, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre o MOR dos painéis OSB.

a) Espécies

Nota-se que não houve diferença estatística entre os valores médios do MOR perpendicular para a variável espécie, sendo que, os maiores valores foram obtidos para *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda* (501 kgf/cm²) e o menor para *Pinus maximinoi* (392 kgf/cm²). Da mesma forma, para a direção paralela não houve diferença estatisticamente significativa das médias das espécies sobre o MOR, sendo que o maior valor foi obtido para *Pinus tecunumanii* (636 kgf/cm²) e o menor para o *Pinus oocarpa* (465 kgf/cm²). Estes valores apresentados são superiores aos valores mínimos definidos pela norma canadense CSA 0437 que são de 124 e 290 kgf/cm², respectivamente para a direção perpendicular e paralela.

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina não acarretou um ganho significativo estatisticamente sobre o MOR na direção perpendicular, como também para a direção paralela.

Ao contrário do MOE, não houve diferença estatisticamente significativa entre a direção paralela e perpendicular. No entanto, os valores numéricos de MOR na direção paralela tendem a serem maiores quando comparadas à direção perpendicular, exceto para o *Pinus oocarpa* e para a média dos tratamentos sem parafina. Com a incorporação da parafina o MOR no sentido paralelo foi estatisticamente superior. Esta tendência também foi encontrada por SUZUKI e TAKEDA (2000) que também observou que o MOR pode ser igual estatisticamente no sentido paralelo e perpendicular, com valores próximos de composição de camada aos utilizados nesta etapa.

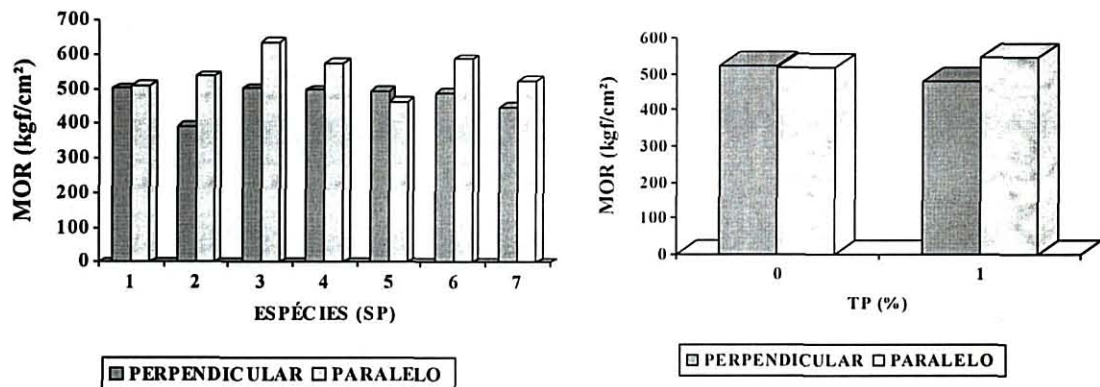
TABELA 33 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O MOR DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	MOR (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>		6	501 A	22,99	508 A	16,00
<i>Pinus maximinoi</i>		6	392 A	19,30	537 A	27,41
<i>Pinus tecunumanii</i>		6	501 A	11,14	636 A	20,87
<i>Pinus caribaea</i>		6	496 A	11,59	574 A	25,96
<i>Pinus oocarpa</i>		6	495 A	22,07	465 A	12,37
<i>Pinus chiapensis</i>		6	490 A	17,78	587 A	18,96
Mistura*		6	449 A	21,44	525 A	24,94
TP (%)	0	44	521 A	19,04	519 AB	20,07
	1	44	477 A	22,98	546 B	24,07

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Misturas das seis espécies.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 39 – VARIAÇÃO DO MOR EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.4 Compressão paralela

Na Tabela 34 e Figura 40, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre a compressão paralela dos painéis.

a) Espécies

Nota-se que não houve diferença estatística entre os valores médios de compressão paralela na direção perpendicular para a variável espécie, sendo que, o maior valor foi obtido para *Pinus oocarpa* (210 kgf/cm²) e o menor valor para o *Pinus tecunumanii* (176 kgf/cm²). Da mesma forma, para a direção paralela não houve diferença estatisticamente significativa das espécies sobre o MOR, sendo que o maior valor foi obtido para *Pinus oocarpa* (164 kgf/cm²) e o menor para *Pinus taeda* (120 kgf/cm²). Outro aspecto interessante observado, foi que não houve diferença estatisticamente significativa entre a direção perpendicular e paralela, indicando que para esta propriedade os valores de resistência são semelhantes, independente do sentido de aplicação da tensão.

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina não afetou a compressão paralela, nos dois sentidos (perpendicular e paralelo). No entanto, existe diferença estatisticamente significativa entre o sentido perpendicular e paralelo nos tratamentos com e sem parafina. Esta tendência, mostra que a compressão paralela não tem um comportamento definido, havendo a necessidade de estudo mais aprofundado desta propriedade.

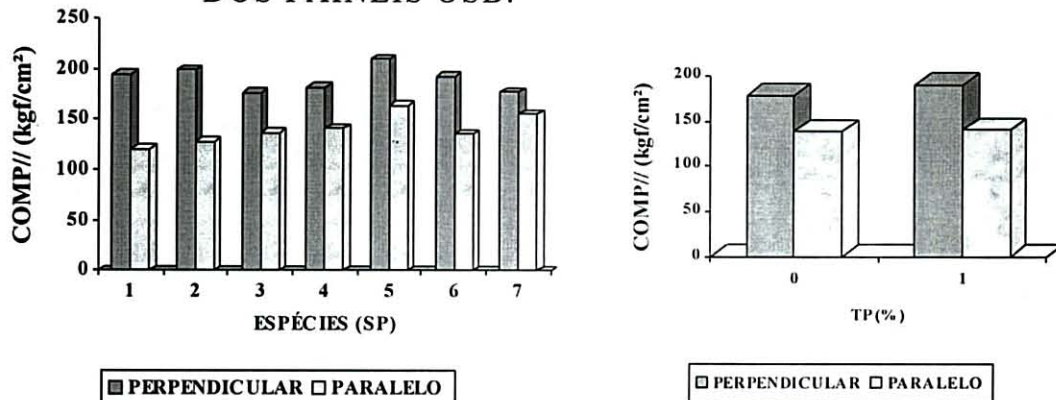
TABELA 34 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	COMPRESSÃO PARALELA (kgf/cm ²)			
			PERPENDICULAR		PARALELO	
			MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)	MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>		6	195 A	23,86	120 A	29,01
<i>Pinus maximinoi</i>		6	199 A	13,01	128 A	24,90
<i>Pinus tecunumanii</i>		6	176 A	26,66	137 A	37,89
<i>Pinus caribaea</i>		6	182 A	38,43	141 A	37,22
<i>Pinus oocarpa</i>		6	210 A	12,21	164 A	14,10
<i>Pinus chiapensis</i>		6	193 A	31,47	136 A	35,58
Mistura*		6	177 A	35,90	156 A	18,45
TP	0	44	177 A	41,65	138 B	33,27
(%)	1	42	189 A	25,59	140 B	28,42

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Misturas das seis espécies.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 40 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.5 Ligação interna

Na Tabela 35 e Figura 41, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre a ligação interna dos painéis OSB.

a) Espécies

Pode-se notar que não houve diferença estatística entre os valores médios de ligação interna dos painéis OSB para a variável espécie (SP), sendo que o maior valor obtido foi de 7,66 kgf/cm² para o *Pinus chiapensis* e o menor foi de 6,89 kgf/cm² para o *Pinus caribaea*. Este resultado pode ser atribuído a pequena amplitude de variação de densidade básica (0,06g/cm³) entre as espécies estudadas. Estes valores apresentados são superiores aos valores mínimos definidos pela norma canadense CSA 0437 que é de 3,45 kgf/cm², para as três categorias de painéis citadas.

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina acarretou na redução estatística significativa nos valores médios de ligação interna dos painéis OSB. Esta redução também foi observada por WINISTORFER et al. (1992) em painéis

OSB. O autor concluiu que para qualquer tipo e nível de parafina aplicados aos painéis, ocorre uma redução na ligação interna, causada provavelmente pela interferência negativa sobre a polimerização da resina.

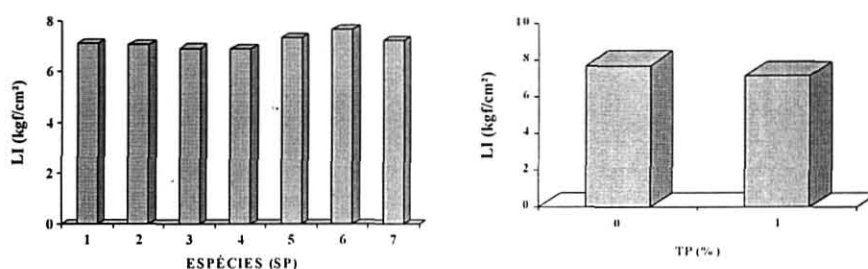
TABELA 35 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A RESISTÊNCIA À LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	LIGAÇÃO INTERNA (kgf/cm ²)	
		MÉDIA (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>	24	7,10 A	26,88
<i>Pinus maximinoi</i>	18	7,04 A	32,11
<i>Pinus tecunumanii</i>	18	6,92 A	28,84
<i>Pinus caribaea</i>	18	6,89 A	25,94
<i>Pinus oocarpa</i>	18	7,32 A	21,75
<i>Pinus chiapensis</i>	18	7,66 A	20,12
Mistura*	18	7,22 A	23,11
0	132	7,74 A	29,05
TP (%)	1	7,15 B	25,54

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Misturas das seis espécies

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 41 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À LIGAÇÃO INTERNA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.6 Absorção de água

Na Tabela 36 e Figura 42, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre absorção de água (AA) dos painéis OSB.

a) Espécies

Pode-se notar que não houve diferença estatística significativa entre os valores médios de absorção de água (2H e 24H) para a variável espécie (SP), sendo que o maior valor obtido para imersão de 2 horas foi de 10,17% para o *Pinus caribaea* e o menor foi de 5,55% para a mistura das seis espécies. Para o teste de imersão após 24 horas, o maior valor encontrado também foi para *Pinus caribaea* (28,38%) e o menor para o *Pinus oocarpa* (21,31%).

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina acarretou na redução estatisticamente significativa nos valores médios de absorção de água dos painéis após imersão em água, tanto para 2 como para 24 horas. Esta redução também foi observada por MATOS (1988) e WINISTORFER et al. (1992). A incorporação da parafina ao colchão, acarreta em redução da higroscopicidade das partículas, pois a mesma reage quimicamente com a substância madeira, ocupando os sítios higroscópicos (OH).

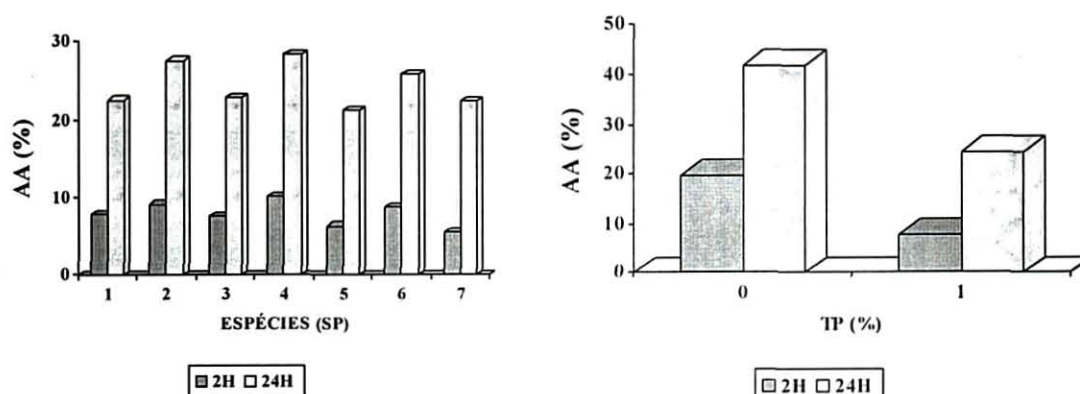
TABELA 36 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)			
			2H		24H	
			MÉDIA (%)	CV (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>		6	7,87 A	11,36	22,57 B	20,10
<i>Pinus maximinoi</i>		6	9,06 A	41,62	27,58 B	36,79
<i>Pinus tecunumanii</i>		6	7,63 A	9,30	22,90 B	45,97
<i>Pinus caribaea</i>		6	10,17 A	33,00	28,38 B	32,60
<i>Pinus oocarpa</i>		6	6,29 A	37,72	21,31 B	37,59
<i>Pinus chiapensis</i>		6	8,80 A	34,47	25,90 B	35,24
Mistura*		6	5,55 A	42,22	22,38 B	28,58
TP (%)	0	44	19,68 A	25,37	41,78 C	24,70
	1	42	7,68 B	35,78	24,43 D	25,57

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Mistura das seis espécies.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 42 – VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.7 Inchamento em espessura

Na tabela 37 e figura 43, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre o inchamento em espessura (IE) dos painéis OSB.

a) Espécies

Pode-se notar que não houve diferença significativa estatisticamente dos valores médios de inchamento em espessura das espécies (SP), após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis OSB. Sendo que o maior valor obtido para imersão de 2 horas foi de 10,10% para o *Pinus maximinoi* e o menor foi de 7,42 para o *Pinus oocarpa*. Para o teste de imersão após 24 horas, o maior valor encontrado também foi para *Pinus Pinus maximinoi* (22,80%) e o menor para o *Pinus oocarpa* (18,22%). Com exceção do *Pinus maximinoi*, os valores obtidos nesta pesquisa são inferiores ao máximo definido pela norma canadense CSA 0437.

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina acarretou numa redução estatisticamente significativa nos valores médios de inchamento em espessura após imersão em água, tanto para 2, como para 24 horas. Esta redução também foi observada por MATOS (1988) e WINISTORFER et al. (1992). A incorporação da parafina ao colchão, acarreta na redução da higroscopicidade das partículas, pois a mesma reage quimicamente com a substância madeira, ocupando os sítios higroscópicos (OH). Deste modo, os painéis absorverão uma menor quantidade de água, e em decorrência disso, o inchamento em espessura é reduzido. A estabilidade dimensional dos painéis OSB é um fator de suma importância na sua utilização final, principalmente em locais úmidos.

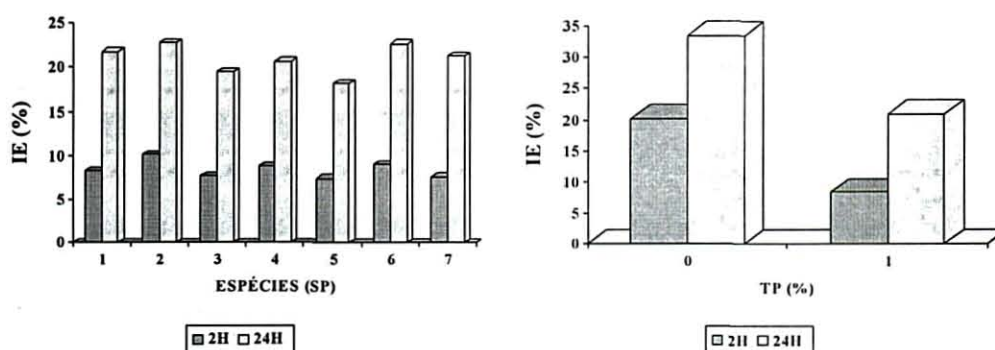
TABELA 37 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO		NCP	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)			
			2H		24H	
			MÉDIA (%)	CV (%)	MÉDIA (%)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>		8	8,31 A	6,45	21,76 B	9,66
<i>Pinus maximinoi</i>		6	10,10 A	34,16	22,80 B	34,90
<i>Pinus tecunumanii</i>		6	7,73 A	21,65	19,46 B	13,41
<i>Pinus caribaea</i>		6	8,82 A	18,56	20,64 B	12,58
<i>Pinus oocarpa</i>		6	7,42 A	16,91	18,22 B	14,62
<i>Pinus chiapensis</i>		6	9,05 A	36,65	22,65 B	28,67
Mistura*		6	7,60 A	26,00	21,33 B	28,61
TP (%)	0	44	20,15 A	24,94	33,32 C	21,99
	1	42	8,43 B	31,73	20,98 D	25,21

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação, e *Mistura das seis espécies.

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 43 – VARIAÇÃO DO INCHAMENTO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.8 Taxa de não retorno em espessura (Spring-back)

Na tabela 38 e figura 42, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre a taxa de não retorno em espessura (TNRE) dos painéis OSB.

a) Espécies

Pode-se notar que não houve diferença estatística significativa dos valores médios da taxa de não retorno em espessura para a variável espécie (SP), sendo que o maior valor obtido de 24,39% foi para a mistura das seis espécies e o menor foi de 14,61% para o *Pinus oocarpa*.

b) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina acarretou na redução estatisticamente significativa nos valores médios da taxa de não retorno em espessura dos painéis OSB. Esta tendência também foi observada por MATOS (1988). A incorporação da parafina ao colchão, acarreta uma redução da higroscopicidade das partículas, pois a mesma reage quimicamente com a substância madeira, ocupando os sítios higroscópicos (OH), diminuindo a absorção de água e o inchamento em espessura, o que ocasiona uma redução na taxa de não retorno em espessura. Sendo que quanto menor este valor, melhor a estabilidade dimensional dos painéis OSB, principalmente em ambientes que possuem uma grande variação de umidade durante as estações do ano.

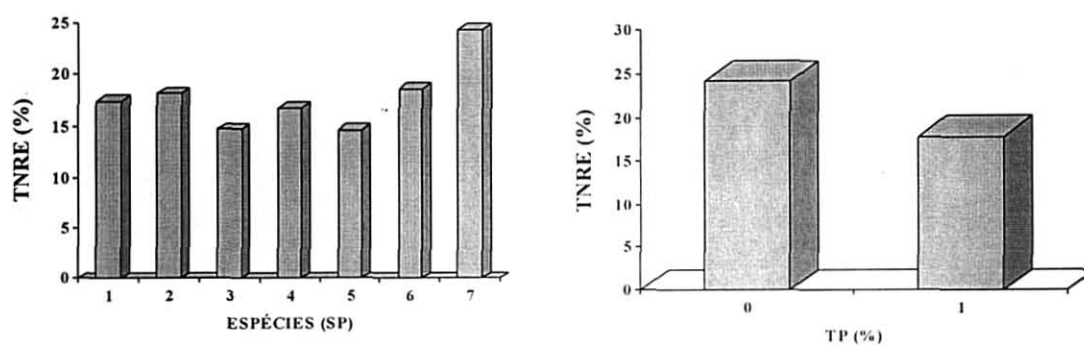
TABELA 38 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (%)	
		MÉDIA (%)	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>	8	17,43 A	15,68
<i>Pinus maximinoi</i>	6	18,18 A	38,79
<i>Pinus tecunumanii</i>	6	14,73 A	17,89
<i>Pinus caribaea</i>	6	16,76 A	14,49
<i>Pinus oocarpa</i>	6	14,61 A	22,89
<i>Pinus chiapensis</i>	6	18,64 A	33,49
Mistura*	6	24,39 A	34,74
TP			
0	44	24,15 A	23,11
1	42	17,82 B	39,46

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Mistura das seis espécies

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 42 – VARIAÇÃO DA TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB.



TP – teor de parafina

4.6.9 Razão de compactação

Na tabela 39 e figura 45, observa-se os efeitos da espécie (SP) e teor de parafina (TP) sobre a razão de compactação dos painéis OSB.

a) Espécies

Pode-se notar que houve diferença estatística significativa dos valores médios de razão de compactação para a variável espécie (SP). Sendo que o maior valor obtido foi de 2,05 para o *Pinus chiapensis* e o menor foi de 1,84 para o *Pinus tecunumanii*. Esta significancia, pode ser atribuída a amplitude de variação ($0,06 \text{ g/cm}^3$) da densidade da madeira destas espécies de 0,37 a $0,43 \text{ g/cm}^3$. Estes resultados vão de encontro ao mencionado por MALONEY (1993) e CLOUTIER (1998), de que densidades da madeira mais baixas, proporcionam razões de compactação mais elevadas. Os painéis de todas as espécies, apresentaram valores de razão de compactação bem próximos ou superiores àsquelas utilizadas na manufatura de OSB pelas indústrias canadenses.

a) Teor de parafina

A adição de 1% de parafina não influenciou estatisticamente os valores de razão de compactação. Este resultado já era esperado, uma vez que, a razão de compactação é uma relação entre as densidades do painel e da madeira.

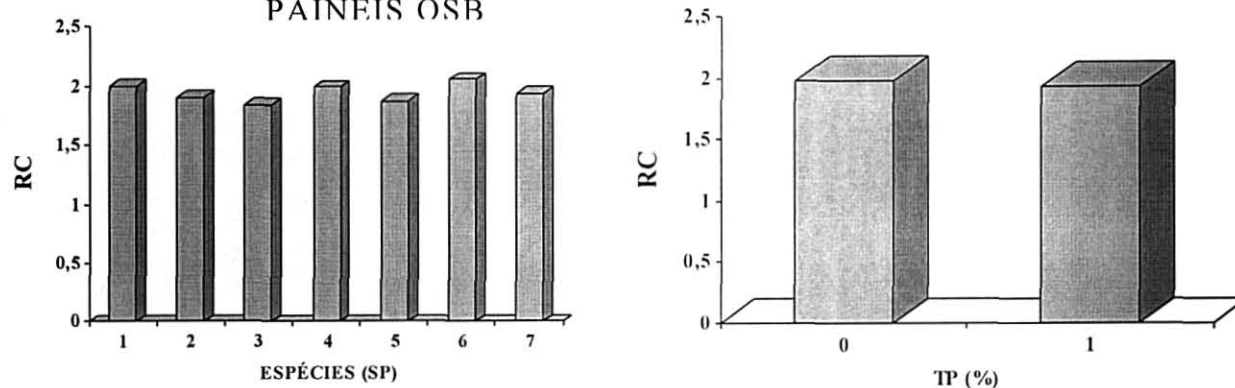
TABELA 39 – EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) SOBRE A RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS OSB.

EFEITO	NCP	RAZÃO DE COMPACTAÇÃO	
		MÉDIA	CV (%)
<i>Pinus taeda</i>	18	2,00 AB	9,53
<i>Pinus maximinoi</i>	18	1,90 AB	7,42
<i>Pinus tecunumanii</i>	18	1,84 A	12,21
<i>Pinus caribaea</i>	18	1,99 AB	16,43
<i>Pinus oocarpa</i>	18	1,87 AB	9,96
<i>Pinus chiapensis</i>	18	2,05 B	6,43
Mistura*	18	1,93 AB	7,99
TP	44	1,98 A	11,20
(%)	42	1,93 A	10,95

SP – espécies; TP – teor de parafina; NCP – número de corpos de prova; CV – coeficiente de variação e *Mistura das seis espécies

Obs.: médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro

FIGURA 45 – VARIAÇÃO DA RAZÃO DE COMPACTAÇÃO EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) DOS PAINÉIS OSB



TP – teor de parafina

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como esta tese foi desenvolvida, em três etapas, as conclusões a seguir apresentadas, estão embasadas nos resultados das análises realizadas nas três fases de coleta de dados. As conclusões finais são aquelas relacionadas com as tendências apresentadas pelas variáveis estudadas nas três fases do estudo.

CONCLUSÃO DA ETAPA 1 - CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR DE PARTÍCULAS

1. Não ocorreu variação da densidade dos painéis produzidos dentro e entre os tratamentos, indicando a formação homogênea do colchão dos painéis OSB;
2. As diferentes larguras das partículas não influenciaram nos módulos de elasticidade e de ruptura em flexão estática na direção perpendicular e paralela às fibras;
3. Os módulos de elasticidade e de ruptura na direção perpendicular às fibras foram superiores nos painéis de três camadas (HE) em relação aos painéis homogêneos (HO), em função da camada interna se encontrar com as fibras das partículas paralelas a direção de flexionamento. Na direção paralela às fibras a situação foi inversa, ou seja, os painéis HO foram superiores aos HE;
4. Houve diferença entre a direção perpendicular e paralela, tanto para o MOR como para o MOE, indicando a eficiência da orientação das partículas.

CONCLUSÃO DA ETAPA 2 - EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS, COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS E DO TEOR DE RESINA

1. A exemplo da etapa 1, não houve variação significativa da densidade dos painéis, demonstrando novamente a homogeneidade na formação do colchão;
2. O aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³ causou um aumento no MOE e no MOR, tanto na direção perpendicular como na paralela;
3. O aumento da espessura da camada interna dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1, provocou um aumento no MOE e no MOR na direção perpendicular, e uma diminuição no MOE e no MOR na direção paralela à orientação das partículas das camadas superficiais dos painéis;
4. A diminuição da relação face/miolo provocou uma redução da diferença entre os valores na direção perpendicular e paralela de MOE e MOR;
5. O aumento do teor de resina de 4 para 6% provocou um aumento de MOE e MOR, no entanto, apenas na direção perpendicular dos painéis houve um aumento estatisticamente significativo;
6. O aumento da densidade dos painéis causou um aumento significativo na compressão paralela, tanto na direção perpendicular como na paralela;
7. A diminuição da relação face/miolo causou um aumento significativo nos valores de compressão paralela, tanto na direção perpendicular como na paralela;
8. Os valores de compressão paralela na direção perpendicular e paralela foram estatisticamente iguais;
9. Quando o teor de resina passou de 4 para 6% houve aumento significativo apenas na direção perpendicular para compressão paralela;
10. Os valores de ligação interna foram maiores quando se utilizou na produção dos painéis: densidade dos painéis de 0,80g/cm³, relação face/miolo de 1:3:1 e teor de resina de 6%;
11. Os valores de absorção de água foram menores quando se utilizou na produção dos painéis: densidade dos painéis de 0,80g/cm³, relação face/miolo de 1:3:1 e teor de resina de 6%. Já os valores de inchamento em

espessura diminuíram quanto se utilizou relação face/miolo de 1:3:1 e 6% de teor de resina;

12. O aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80g/cm³ não afetou o inchamento em espessura após 2 horas de imersão, no entanto, houve um aumento no inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água;
13. A taxa de não retorno em espessura foi maior em painéis de densidade maior e diminuiu com o aumento do teor de resina. Já a relação face/miolo não afetou esta propriedade.

CONCLUSÃO DA ETAPA 3 - EFEITOS DAS ESPÉCIES E ADIÇÃO DE PARAFINA

1. A exemplo das etapas 1 e 2 não houve variação da densidade dos painéis, demonstrando novamente a homogeneidade na formação do colchão;
2. O MOE, MOR e compressão paralela não foram afetados pelas espécies;
3. A adição de 1% de parafina acarretou um aumento significativo no MOE, no sentido de flexionamento perpendicular;
4. No sentido paralelo o MOE não foi afetado pela adição de parafina, bem como o MOR e a compressão paralela nos dois sentidos de flexionamento;
5. A ligação interna não foi afetada pelas espécies;
6. A adição de 1% de parafina causou uma redução significativa nos valores de ligação interna;
7. Os valores de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura não foram afetados pelas espécies;
8. Ocorreram reduções significativas nos valores de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura com a adição de 1% de parafina;
9. A razão de compactação foi afetada pelas espécies, sendo que os maiores valores de razão de compactação correspondem às espécies de menores densidades da madeira;

CONCLUSÕES FINAIS

Com base nas conclusões das três etapas, pode-se resumir as conclusões deste trabalho da seguinte forma:

1. O orientador de partículas construído é eficiente na manufatura experimental de painéis OSB;
2. A largura das partículas de 15, 20 e 25mm não afeta as propriedades mecânicas dos painéis;
3. Os painéis OSB apresentam melhores propriedades quando manufaturados com densidade de $0,80\text{g/cm}^3$, relação face/miolo de 1:3:1 e teor de resina de 6%;
4. As camadas cruzadas influenciam nas propriedades dos painéis OSB;
5. As espécies estudadas são homogêneas entre si e produzem painéis de qualidade semelhante, inclusive em relação ao *Pinus taeda* que é a espécie mais plantada no país;
6. A mistura das espécies não afeta as propriedades dos painéis, o que viabiliza o uso das mesmas em conjunto, aumentando a disponibilidade de matéria prima;
7. A adição de parafina melhora a estabilidade dimensional dos painéis;
8. Todos os painéis produzidos atenderam às especificações mínimas da norma canadense CSA 0437.0.

RECOMENDAÇÕES

Com base nas conclusões obtidas as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

1. O orientador de partículas testado neste trabalho é recomendado para trabalhos futuros;
2. Recomenda-se estudar a influência da distância entre as lâminas e a altura de queda das partículas;
3. O nível de resina deve ser definido em função da qualidade exigida para determinado uso final dos painéis, por ser a variável que mais contribui para o aumento do custo final dos painéis;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE MADEIRA AGLOMERADA. **RELATÓRIO SETORIAL**, 1992.

ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **RELATÓRIO SETORIAL**, 2000, 54P.

ABIPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **RELATÓRIO SETORIAL**. São Paulo, 2000, 1p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, 1998.

ALBUQUERQUE, C.E.C ; MENDES, L.M. OSB: aspectos de produção, usos e vantagens sobre outros painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 44, p. 22 - 26. 1999.

ALBUQUERQUE, C.E.C ; MENDES, L.M. OSB: processo industrial e considerações. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 46, p. 56 - 66. 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials**. ASTM D-1037-91 Philadelphia: 199. vol.04.09 (Annual Book of ASTM standards).

ANDERSEN, A.W.; TROUGHTON, G.E. New phenolic formulations for bonding higher moisture content OSB panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 10, p. 72-76, 1996.

AU, K.C.; GERTJEJANSEN, R.O.; LARNTZ, K. Use of response surface methodology to maximize paper birch utilization in a three-layer, two species oriented strand board. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 24, n. 4, p. 432-441, 1992.

AVRAMIDIS, S.; SMITH, L.A. The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board. **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 131-133, 1989. .

BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326p.

BARRY, A. O.; CORNEAU, D. Volatile chemicals emissions from OSB as a function of processing parameters. **Holzforschung**, Berlin, v. 53, n. 4, p. 441-446, 1999.

BIBLIS, J.E.; GRIGORIOU, A.; CARINO, H. Flexural properties of veneer-overlaid OSB composite panels from southern yellow pine. **Forest Products Journal**, Madison, v.46, n. 4, p. 59-62, 1996.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards**. Curitiba, 1984. 104p.(Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliotti* plantado no sul do Brasil**. Curitiba, 1995. 123p.(Tese de Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CALVÉ, L.R. et al. A practical lignin-based adhesive for waferboard/OSB. . **Forest Products Journal**, Madison, v. 38, n. 5, p. 15-20, 1988.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. OSB and Waferboard. CSA 0437.0 – 93. Ontario: 1993. 18p.

CANADIDO, L.S.; SAITO, F.; SUZUKI, S. Effect of particle shape on the orthotropic properties of oriented strand board. **Journal of the Japan Wood**, Tokyo, v.34, n. 1, p. 21-27, 1988.

CANADIDO, L.S.; SAITO, F.; SUZUKI, S. Influence of strand thickness and board density on the orthotropic properties of oriented stranboard. **Journal of the Japan Wood**, Tokyo, v. 36, n. 8, p. 632-636, 1990.

CARINO, H.F.; TEETER, L.D.; LENOIR-JR, C.H. Feasibility and economic impact of OSB production in North Alabama. **Forest Products Journal**, Madison, v. 41, n. 2, p. 51-57, 1991.

CHILD, M.R. **The effect of density, resin content and chip width on springback and certain other properties of dry formed flat pressed particleboard**. Raleigh, Nort Carolina State University, Dept. of Wood and Pap. Sci., 1956. MS. Thesis.

CLOUTIER, A. Oriented stranboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., **Anais**. Belo Horizonte, SIF, 1998, p. 173-185.

EINSFELD, R. A.; MURRAY, D. W.; CHENG, J. J. R.; BACH, L. Manufatura e características das chapas OSB (Oriented Strand Board). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Anais**.

Florianópolis: IBRAMEN, 1998, v.3, , p.385-394.

FORD-ROBERTSON, F. C. **Terminology of forest science, technology practice and products**. Washington D.C.: Society of American Foresters, 1971. 349p.

GARCIA, P.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. **Oriented Strand Board hot-pressing and flake orientation**. In: Proceedings of the fourth International Conference on the development of Wood Science, Wood Techonoly and Forestry. Missenden Abbey, UK, p. 365-374, 1999.

GEIMER, R.L. Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry. USDA-Forest Service, Research Paper FPL 275 Madison. 1976.

GEIMER, R.L. Dimensional stability of flakeboards as affected by board specific gravity and flake alignment. **Forest Products Journal**, Madison, v. 32, n.8, p. 44-52. 1982.

GOUVEIA, F.N.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 7-12. 2000.

GRIGORIOU, A. H.; BIBLIS, E. I. Performance of two overlays and two coating materials for oriented strand board substrates after 21 days continuous water spraying. **Holzforschung und Holzverwertung**, Berlin, v.47, n. 4, p. 72-73. 1995.

HON, D.N.S.; BANGI, A.P. Chemical modification of juvenile wood. Part 1. Juvenility and response of southern pine OSB flakes to acetylation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 7-8, p. 73-78. 1996

HSE, C.Y. et al. Laboratory-scale development of a structural exterior flakeboard from hardwoods growing on southern pine sites. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n.3, p. 45-50. 1992.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. Curitiba, 1989. 129p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128p.(série didática n.1).

IWAKIRI, S. Painéis de partículas orientadas "OSB". **Revista da Madeira: (ABPM)**, Curitiba. n. 41, p. 52-53. 1999.

JANSSENS, D.P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as preferred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1, **Anais**. Belo Horizonte: SIF, 1998, p. 169-172.

KEINERT Jr, S. Chapas de partículas estruturais a partir de *Pinus* e *Eucalyptus* spp. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1. **Anais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. P. 315-326.

KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, Madison, 1977, 66p.

KOLLMANN, F.F.P; KUENZI, E. W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology II - Wood based materials**. Springer - verlag Berlin heidelberg, New York, 1975, 703p.

LELLES, J. G. de; SILVA, J. de C. Novos usos para a madeira. **Revista da Madeira**, ABPM, Curitiba, v.6, n.36, p.42-45. 1998.

MAcNATT, J.D.; BACH, L.; WELLWOOD, R.W. Contribution of flake alignment to performance of strandboard. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 45-50. 1992.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing**. 1 ed. San Francisco: M. Freeman , 1977. 672p.

MALONEY, T.M. The development in the United States and Canada of Waferboard, oriented strand board, and medium density fibreboard. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 42, n.10, p. 361-365. 1984.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2 ed. São Francisco: M. Freeman , 1993. 689p.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v.46, n.2, p.19-26. 1996.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1992. 453p.

MATOS, J.L.M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. Curitiba. 1988 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.

MATOS, J.L.M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997, 117 f. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MENDES, L.M. et al. Influência das variáveis de processamento na produção de painéis OSB. In: PESQUISA FLORESTAL ONLINE, 1: **Anais**. Curitiba, PR). Anais do Evento/Pesquisa Florestal Online, Curitiba: UFPR, 2000a p. 151

MENDES, L.M. et al. Influencia de las variables de procesamiento en la producción de tableros. In: IX REUNIÓN Y I CONGRSSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS FORESTALES, 1. **Anais**. Bío-Bío: Laura Reyes Nunes, 2000b, p. 83- 84.

MENDES, L.M. et al. Qualidade da madeira para produção de painéis OSB. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8. **Anais**. Nova Prata: 2000c, p.

MENDES, L.M; ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. Perspectivas do processo de produção de painéis OSB (Oriented Strand Board). In: EBRAMEN (ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA), 7. **Anais**. São Carlos: IBRAMEN, 2000d. 1 CDROOM (Tópicos Especiais), 9p.

MENDES, L.M; IWAKIRI, S.; SALDANHA, L.K. Produção de Painéis OSB (oriented Strand Board) de *Pinus taeda*. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPN, 8. **Anais**. Curitiba: SBPN, 2000e, v.4 (supl.1). p. 74-75.

MENDES, L.M. ;. ALBUQUERQUE, C.E.C OSB: Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e de partículas. **Revista da Madeira**, ABPM, Curitiba, n. 53, 2000f. p. 14 - 22.

MENDES, L.M. ;. ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, ABPM, Curitiba, n. 5, 2001, p. .

MOSLEMI, A.A. Particleboard vol. 1: Materials. London: Southern Illinois University Press, 1974, 244p.

MOSLEMI, A.A. Parteleboard vol. 2: Technology., London: Southern Illinois University Press, 1974. 245p.

MURAKAMI, K. et al. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I. **Japan Wood Science** , Tokyo, v. 45, n. 5, p. 395-402, 1999.

NELSON, R. A.; KELLY, M. A. Is there potencial to produce OSB in the NSW Hunter Valley?. **Australian Forestry**. Melbourne, v. 61, n. 2, p. 163-171. 1998.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ: testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. **DIN 52362**, 1982, p. 39-40.

OH, Y. et al. Evaluation of phenol-formaldehyde OSB resins modified with lignin residues from acid-hidrolyzed waste newsprint. **Forest Products Journal**, Madison, v.44, n. 2, p. 25-29. 1994.

ORIENTED strand board in wood frame construction. Ontario: Structural Board Association, 1998, 28p.

PHILLIPS, E.K. et al. Techniques for bonding high moisture content wood in oriented strand board with phenol formaldehyde resin. In: PROCEEDINGS OF THE TWENTY-FIFTH WASHINGTON STATE UNIVERSITY INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, **Anais**, Pulmann, p. 231-248. 1991.

RAUTEWOOD. Oportunidades para el futuro...productos derivados de la madeira com última tecnologia incorporada. Santiago, 1998. Paginação irregular.

SASAKI, H. et al. Production of oriented board with na electrostatic field III. Semi-strand board having better orientation toward both surfaces. **Journal of the Japan Wood**, Tokyo, v. 35, n. 8, p. 725 – 730. 1989.

SJOSTROM, F. **Wood chemistry fundamentals and aplication**. New York: Academic Press, 1993, 223p.

SOBRAL FILHO, M. **The influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels**. Idaho. 1979. 93p (Dissertation of Doctor Philosophy – major in Forestry) University of Idaho Graduate School.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, Madison, v.31, n. 9, p. 43-52. 1981.

SUCHSLAND, O. Compression shear test for determination of internal bond strenght in particleboard . **Forest Products Journal**, Madison, v. 27, n. 1, p. 32-36, 1977.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. . **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 289-295. 2000.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Testing and Methods. Atlanta. Tappi Press. 1994.

USDA. Wood handbook: wood as an engineering material. Disponível em: <<http://www.fpl.fs.fed.us//documnts/FPLGTR/fplgtr113.htm>> acessado em 26 de maio de 2001.

VITAL, B.R., LEHMANN; BOONE, R.S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, madison, v. 24, n.12, p. 37-45, 1974.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF. **Boletim Técnico** n. 1. 1984. 21 p.

WATAI, L. T. Painéis Estruturais -Tendências e Desenvolvimento no Brasil In: SEMADER,4. **Anais**. Curitiba, ABPM: 1996. p. 71-74.

WANG, K. Y. Quadratic RSM models of processing parameters for three layer oriented flakeboards. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.31, n. 2, p. 173-186. 1999.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 37-44. 2000.

WINISTORFER, P.M.; MCFARLAND, D.L.; RICHARD, C.S. Evaluating the performance of ten wax formulations and three application rates on properties of oriented strand board. In: PROCEEDINGS OF THE TWENTY-SIXTH WASHINGTON STATE UNIVERSITY INTERNATIONAL PARTICLEBOARD-COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM. **Anais**. Pulmann, 1992. p. 236-250.

WOLCOTT, M.P.; TICHY, R.J.; YUKUN, H; GUO, Z.D. The development of OSB i the People's Republic of China. **Forest Products Journal**, Madison, v.47, n. 1, p. 19-25. 1997.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**.Madison, v.31, n. 1, p. 28 – 40. 1999.

YUSOFF, M. N. M.; HORIE, H. The manufacture of oriented strand boards from rubeerwood. **Journal of Tropical Forest Products**. Malaysia, v. 3, n. 1, p. 43-50. 1997.

ZHANG, M. et al. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n.44, p.191-197. 1998.

ZHOW, D. A estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Effects of some factors of mechanical forming installation for orientation effectiveness. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 47, n. 10, p. 405-407. 1989.

ZHOW, D. A estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Phisical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293-296, 1990.

ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation**. Berlin: Springer. 1989. 290p.

ZOBEL, B.J.; SPRAGUE, J.R. **Juvenile wood in forest trees**. Berlin: Springer. 1998. 300p.

ANEXO – ESTATÍSTICAS

ANEXOS: ANÁLISES ESTÁTISTICAS

**ANEXO 1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A AVALIAÇÃO DA
CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR DE
PARTÍCULAS (ETAPA 1)**

**ANEXO 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A AVALIAÇÃO DOS
EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS, COMPOSIÇÃO
DOS PAINÉIS E TEOR DE RESINA (ETAPA2)**

**ANEXO 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AVALIAÇÃO DOS
EFEITOS DO TEOR DE PARAFINA E ESPÉCIES (ETAPA
3)**

**ANEXO 1 – ANEXO 1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A AVALIAÇÃO
DA CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR DE
PARTÍCULAS (ETAPA 1)**

ANEXO 1.1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DOS PAINÉIS EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Densidade	0,0246215	5	0,0049243	1,38 ^{NS}	0,2414
ERRO	0,2383727	67	0,0035578		
TOTAL	0,2629943	72			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DOS PAINÉIS EM CORPOS DE PROVA PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Densidade	0,0145031	5	0,0029006	0,67 ^{NS}	0,6437
ERRO	0,2921468	68	0,0042963		
TOTAL	0,2629943	72			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DOS PAINÉIS EM CORPOS DE PROVA PARALELO E PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Densidade	0,0070154	1	0,0070154	1,78 ^{NS}	0,1835
ERRO	0,5696442	145	0,0039286		
TOTAL	0,5766597	146			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
LP	2,76375E7	2	1,38187E7	0,82 ^{NS}	0,4444
ERRO	1,19603E9	71	1,68456E7		
TOTAL	1,22367E9	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) EM CORPOS DE PROVA PARALELOS.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
LP	4,61168E8	2	2,30584E8	1,44 ^{NS}	0,2428
ERRO	1,13377E10	71	1,59686E8		
TOTAL	1,17989E10	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
LP	11926,2	2	963,11	1,06 ^{NS}	0,3526
ERRO	400237,0	71	5637,14		
TOTAL	412163,0	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA LARGURA DAS PARTÍCULAS (LP) EM CORPOS DE PROVA PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
LP	21674,4	2	10837,2	0,39 ^{NS}	0,6767
ERRO	1,95913E6	71	25593		
TOTAL	1,9808E6	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP	6,96999E8	1	6,96999E8	95,28*	0,0000
ERRO	5,26673E8	72	7,311491E6		
TOTAL	1,22367E9	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) EM CORPOS DE PROVA PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP	1,92379E9	1	1,92379E9	14,03*	0,0004
ERRO	9,8751E9	72	1,37154E8		
TOTAL	1,17989E10	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP	247356,0	1	247356,0	108,06*	0,0000
ERRO	164807,0	72	2288,99		
TOTAL	412163,0	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) EM CORPOS DE PROVA PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP	378440,0	1	378440,0	17,00*	0,0001
ERRO	1,60236E6	72	22255,0		
TOTAL	1,9808E6	73			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SF	6,6794E0010	1	6,6794E0010	743,72*	0,0000
ERRO	1,3022E0010	145	89810242		
TOTAL	7,9816E0010	146			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SF	5704143,3	1	5704143,3	346,11*	0,0000
ERRO	2389682,8	145	16480,571		
TOTAL	8093826,2	146			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

**ANEXO 2 – ANEXO 2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A AVALIAÇÃO
DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS,
COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS E TEOR DE RESINA
(ETAPA2).**

ANEXO 2.1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL FORMAÇÃO DO COLCHÃO DO FATOR MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) DOS PAINÉIS PARA OS CORPOS DE PROVA DO FATOR LIGAÇÃO INTERNA.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO	1,0219626	7	0,1459947	20,39*	0,0000
Densidade					
ERRO	1,3169367	184	0,071573		
TOTAL	2,3388993	191			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	3,1110E0008	1	3,1110E0008	7,67*	0,0074
CP	2,2232E0009	1	2,2232E0008	54,86*	0,0000
TR	7,7160E0008	1	7,7160E0008	19,04*	0,0001
ERRO	2,4314E0009	60	40523655		
TOTAL	5,7373E0009	63			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE PARALELO DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	3,5150E00008	1	3,5150E0008	5,29*	0,0249
CP	5,7574E0008	1	5,7574E0008	8,66*	0,0046
TR	1,6815E0008	1	1,6815E0008	2,53 ^{NS}	0,1169
ERRO	3,9870E0009	60	66449713		
TOTAL	5,0824E0009	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP/SF	1,85986E10	3	6,19952E9	75,69*	0,0000
ERRO	1,0157E10	124	8,19114E7		
TOTAL	2,87556E10	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP/SF	2,0541E10	3	6,847E9	103,36*	0,0000
ERRO	8,214588E9	124	6,62466E7		
TOTAL	2,87556E10	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DO TEOR DE RESINA (TR) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TR/SF	1,88757E10	3	6,2919E9	78,97*	0,0000
ERRO	9,87988E9	124	7,96764E7		
TOTAL	2,87556E10	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	85827,03	1	85827,03	8,87*	0,0042
CP	274589,10	1	274589,10	28,40*	0,0000
TR	116085,26	1	116085,26	12,00*	0,0010
ERRO	580031,26	60	9667,1876		
TOTAL	1056532,40	63			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR PARALELO DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	67210,563	1	67210,563	4,80*	0,0323
CP	62075,723	1	62075,723	4,43*	0,0323
TR	14322,106	1	14322,106	1,02 ^{NS}	0,3156
ERRO	839111,82	60	13985,197		
TOTAL	982720,21	63			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP/SF	752126,0	3	250709,0	16,48*	0,0000
ERRO	1,88622E6	124	15211,4		
TOTAL	2,63834E6	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP/SF	905877,0	3	301959,0	21,61	0,0000
ERRO	1,73246E6	124	13971,5		
TOTAL	2,63834E6	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DO TEOR DE RESINA (TR) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TR/SF	729495,0	3	243165,0	15,80*	0,0000
ERRO	1,90885E6	124	15393,9		
TOTAL	2,63834E6	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	5434,922	1	5434,922	1,34 ^{NS}	0,2508
CP	8315,528	1	8315,528	2,05 ^{NS}	0,1566
TR	26895,015	1	26895,015	6,65*	0,0124
ERRO	242469,84	60	4041,1640		
TOTAL	283115,31	63			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 2.13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA PARALELA DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	17245,058	1	17245,058	7,53*	0,0080
CP	10499,233	1	10499,233	4,58*	0,0363
TR	4649,076	1	4649,076	2,03 ^{NS}	0,1593
ERRO	137340,75	60	2289,0126		
TOTAL	169734,12	63			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 2.14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP/SF	22733,6	3	7577,87	2,18 ^{NS}	0,0932
ERRO	430169,0	124	3469,11		
TOTAL	452903,0	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CP/SF	10894,1	3	3631,37	1,02 ^{NS}	0,3868
ERRO	442009,0	124	3564,59		
TOTAL	452903,0	127			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO DO TEOR DE RESINA (TR) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TR/SF	31597,7	3	10532,6	3,10*	0,0292
ERRO	421305,0	124	3397,62		
TOTAL	452903,0	127			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	75,07866	1	75,07866	21,08*	0,0000
CP	283,78259	1	283,78259	79,68*	0,0000
TR	40,64292	1	40,64292	11,41*	0,0009
ERRO	547,8067	180	3,0433705		
TOTAL	947,30687	183			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 2H DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	2122,8847	1	2122,8847	38,70*	0,0000
CP	258,8921	1	258,8921	4,72*	0,0338
TR	1316,2126	1	1316,2126	23,10*	0,0000
ERRO	3290,8392	60	54,847319		
TOTAL	6988,8285	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 24H DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	3046,3663	1	3046,3663	34,60*	0,0000
CP	448,1581	1	448,1581	5,10*	0,0277
TR	5381,0186	1	5381,0186	61,11*	0,0000
ERRO	5283,0340	60	88,050567		
TOTAL	14158,577	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 2H DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	44,4324	1	44,4324	1,60 ^{NS}	0,2116
CP	128,8898	1	128,8898	4,62*	0,0356
TR	1767,9178	1	1767,9178	63,43*	0,0000
ERRO	1672,2207	60	27,870345		
TOTAL	3613,4608	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 2.21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 24H DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	262,7103	1	262,7103	8,47	0,0051
CP	89,8807	1	89,8807	2,89 ^{NS}	0,0939
TR	2244,3651	1	2244,3651	72,36*	0,0000
ERRO	1861,0290	60	31,017149		
TOTAL	4457,9851	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA (TNRE) DOS EFEITOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS (DP), COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS (CP) E TEOR DE RESINA (TR).

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
DP	119,5828	1	119,5828	4,88*	0,0310
CP	7,8843	1	7,8843	0,32 ^{NS}	0,5787
TR	1319,1898	1	1319,1898	53,84*	0,0000
ERRO	1470,0018	60	24,500030		
TOTAL	2916,6588	63			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

**ANEXO 3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AVALIAÇÃO DOS
EFEITOS DO TEOR DE PARAFINA E ESPÉCIES.**

ANEXO 3.1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL CIRCUNFERÊNCIA A ALTURA DO PEITO (CAP) DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
CAP	1819,91	5	363,982	3,58*	0,0121
ERRO	2945,63	29	101,574		
TOTAL	4765,54	34			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ALTURA TOTAL (HT) DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
HT	200,108	5	40,0217	14,32*	0,0000
ERRO	81,0234	29	2,79391		
TOTAL	281,132	34			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.3 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) DA MADEIRA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Densidade	0,137454	5	0,0274909	21,46*	0,0000
ERRO	0,283086	221	0,00128093		
TOTAL	0,42054	226			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL FORMAÇÃO DO COLCHÃO DO FATOR MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) DOS PAINÉIS PARA OS CORPOS DE PROVA DE FLEXÃO ESTÁTICA – MOE E MOR PERPENDICULAR.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Densidade	0,0523913	13	0,0040301	1,19 ^{NS}	0,2929
ERRO	0,2460241	73	0,0033702		
TOTAL	0,2984154	86			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	3,0201E0008	6	50334333	0,75 ^{NS}	0,6086
TP	4,8697E0007	1	48697375	0,73 ^{NS}	0,4049
ERRO	5,2777E0009	79	66806502		
TOTAL	5,6292E0009	86			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE PARALELO DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	1,3234E0009	6	2,2056E0008	3,88*	0,0019
TP	2,9286E0008	1	2,9286E0008	5,15*	0,0260
ERRO	4,353E0009	78	56862270		
TOTAL	6,0741E0009	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DAS ESPÉCIES (SP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP/SF	8,06893E9	13	6,20687E8	8,29*	0,0000
ERRO	5,24167E9	70	7,4881E7		
TOTAL	1,33106E10	83			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO DO TEOR DE PARAFINA (TP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TP/SF	1,29918E10	3	4,3306E9	64,55*	0,0000
ERRO	1,13383E10	169	6,70906E7		
TOTAL	2,43301E10	172			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	37162,066	6	6193,678	0,55 ^{NS}	0,7628
TP	41073,215	1	41073,215	3,70*	0,0581
ERRO	877881,01	79	11112,418		
TOTAL	955862,75	86			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR PARALELO DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	171728,54	6	28621,424	2,21*	0,0509
TP	15671,53	1	15671,53	1,21 ^{NS}	0,2749
ERRO	1199214,9	78	12961,962		
TOTAL	1199214,9	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DAS ESPÉCIES (SP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP/SF	284793,0	13	21907,2	1,49 ^{NS}	0,1431
ERRO	1,02911E6	70	14701,6		
TOTAL	1,3139E6	83			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO DO TEOR DE PARAFINA (TP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TP/SF	112816,0	3	37605,4	3,03*	0,0309
ERRO	2,0978E6	169	12413,0		
TOTAL	2,21062E6	172			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA PERPENDICULAR DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	25410,632	6	4235,1053	1,09 ^{NS}	0,3803
TP	3151,667	1	3151,6667	0,81 ^{NS}	0,3762
ERRO	311106,30	80	3888,8288		
TOTAL	339668,60	87			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 3.14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA PARALELA DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	14139,293	6	2356,5488	1,29 ^{NS}	0,2715
TP	114,786	1	114,7860	0,063 ^{NS}	0,8054
ERRO	142458,93	78	1826,3966		
TOTAL	156774,32	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 3.15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO DAS ESPÉCIES (SP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP/SF	66282,5	13	5098,66	2,38*	0,0103
ERRO	149672	70	2138,17		
TOTAL	215955,0	83			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO DO TEOR DE PARAFINA (TP) E DO SENTIDO DE FLEXIONAMENTO (SF) PERPENDICULAR E PARALELO.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
TP/SF	95429,6	3	31809,9	11,32*	0,0000
ERRO	474805,0	169	2809,5		
TOTAL	570235,0	172			

*=SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.17 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	124,3855	6	20,730923	5,36*	0,0000
TP	22,55351	1	22,553515	5,838*	0,0164
ERRO	965,77476	250	3,8630990		
TOTAL	1117,5106	257			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 3.18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 2H DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	241,2784	6	40,2131	2,72*	0,0186
TP	2968,4358	1	2968,4358	201,17*	0,0000
ERRO	1150,9130	78	14,755294		
TOTAL	4325,8546	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE: NS = Não significativo

ANEXO 3.19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 24H DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	1540,8000	6	256,80000	4,39*	0,0007
TP	6448,5528	1	6448,5528	110,21*	0,0000
ERRO	4563,8869	78	58,511371		
TOTAL	12303,7200	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 2H DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	129,3166	6	21,5528	1,34 ^{NS}	0,2482
TP	2940,8635	1	2940,8635	183,31*	0,0000
ERRO	1251,3514	78	16,042967		
TOTAL	4331,3829	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 24H DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	356,4354	6	59,4059	1,48 ^{NS}	0,1950
TP	3261,6859	1	3261,6859	81,41*	0,0000
ERRO	3124,9629	78	40,063627		
TOTAL	6389,0596	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TAXA DE NÃO RETORNO EM ESPESSURA DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	136,09044	6	22,68174	0,54 ^{NS}	0,7694
TP	859,50747	1	859,50747	20,80*	0,0000
ERRO	3223,0237	78	41,320817		
TOTAL	4194,2817	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) EM CORPOS DE PROVA PERPENDICULARES DO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA.

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	0,8241371	6	0,1373562	2,32*	0,0403
TP	0,0034253	1	0,0034253	0,05 ^{NS}	0,8129
ERRO	4,7248833	80	0,590610		
TOTAL	5,5524457	87			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 3.24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS EFEITOS DA ESPÉCIE (SP) E TEOR DE PARAFINA (TP) EM CORPOS DE PROVA PARALELO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA.

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
SP	0,6496280	6	0,1082713	6,25*	0,0000
TP	0,0000689	1	0,0000689	0,04 ^{NS}	0,9505
ERRO	4,7248833	80	0,590610		
TOTAL	2,0003350	85			

* =SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo